

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-028367

(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int.Cl.

G01C 19/56  
G01P 9/04  
G01P 15/13

(21)Application number : 10-213508

(71)Applicant : WAKO:KK

(22)Date of filing : 13.07.1998

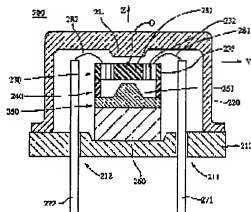
(72)Inventor : OKADA KAZUHIRO

## (54) ANGULAR VELOCITY SENSOR AND ANGULAR VELOCITY DETECTING DEVICE USING THE SAME

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a multi-axis angular velocity sensor in a simple structure.

**SOLUTION:** In an angular velocity sensor, a supporting member 250, a seating 240, and a plate-shaped structure 230 are arranged on a magnet 260. The plate-shaped structure 230 is formed of a center part 231, a flexible part 232, and a circumferential part 233, and the circumferential part 233 is fixed on the seating 240. The flexible part 232 has flexibility, and the center part 231 is suspended in a state movable along the x-, y-, and z-axes. Magnetic flux along the z-axis is formed between magnetic heads 251 and 221. Conductive paths directed toward X and Y are formed on the upper surface (x-y plane) of the center part 231. When current is conducted through the conductive path directed toward X, Lorentz's force acts in the direction X, and the center part 231 is moved along the y-axis. If angular velocity  $\omega_z$  about the z-axis acts, Coriolis force  $F_x$  acts along the x-axis. Then the center part 231 is displaced along the x-axis, and electromotive force according to  $\omega_z$  is developed in the conductive path directed toward Y.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.07.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 C 19/56		G 0 1 C 19/56	2 F 1 0 5
G 0 1 P 9/04		G 0 1 P 9/04	
15/13		15/13	

審査請求 未請求 請求項の数29 F D (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願平10-213508

(22) 出願日 平成10年7月13日 (1998.7.13)

(71) 出願人 390013343

株式会社ワコー

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

(72) 発明者 岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

(74) 代理人 100091476

弁理士 志村 浩

Fターム (参考) 2F105 A110 B812 B815 C004 C010

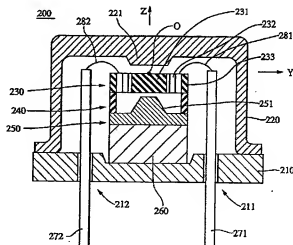
C007 C013

## (54) 【発明の名称】 角速度センサおよびこれを用いた角速度検出装置

## (57) 【要約】

【課題】 構造が単純な多軸角速度センサを実現する。

【解決手段】 磁石260上に支持部材250、台座240、板状構造体230を配置する。板状構造体230は、中央部231、可撓部232、周囲部233からなり、周囲部233は台座240上に固定される。可撓部232は可撓性を有し、中央部231はXYZ軸方向に移動可能な状態で懸架される。磁気ヘッド251、221間に、Z軸方向を向いた磁束が形成される。中央部231の上面(XY平面)には、X方向およびY方向を向いた導電路が形成される。X方向導電路に電流を流すと、Y方向にローレンツ力が作用し、中央部231がY軸方向に運動する。このとき、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用すると、X軸方向にコリオリ力 $F_x$ が作用し、中央部231はX軸方向に変位し、Y方向導電路に $\omega_z$ に応じた起電力が発生する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに直交する第 1 の軸、第 2 の軸、第 3 の軸によって定義される三次元座標系において、少なくとも前記第 1 の軸まわりの角速度を検出する角速度センサであって、

前記三次元座標系の空間内で運動可能な重錘と、

前記重錘を収容する装置筐体と、

前記重錘を前記装置筐体に対して、所定の自由度をもって運動可能となるように接続する接続部材と、

前記重錘上に形成された励振用導電路および検出用導電路と、

前記励振用導電路および前記検出用導電路が位置する空間に、前記励振用導電路および前記検出用導電路のいずれに対してとも磁束が平行にはならないような磁界を発生させる磁界発生手段と、

を備え、

前記励振用導電路に電流を供給した場合に、この電流と前記磁界との相互作用に基づくローレンツ力によって前記重錘体が前記第 2 の軸方向に運動するように前記励振用導電路が配置され、

前記第 1 の軸まわりの角速度と前記第 2 の軸方向の運動とに基づいて前記第 3 の軸方向に作用するコリオリ力によって、前記重錘体が前記第 3 の軸方向に変位したことを、前記検出用導電路に発生する起電力に基づいて検出することができるように前記検出用導電路が配置されていることを特徴とする角速度センサ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の角速度センサにおいて、

互いに直交する X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸によって定義される X Y Z 三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、

励起用導電路を実質的に X 軸に沿って配置し、検出用導電路を実質的に前記 Y 軸に沿って配置し、

磁界発生手段が、Z 軸に平行な成分を有する磁束  $\phi_z$  からなる磁界を発生するようにし、前記励起用導電路に電流  $I_x$  を供給した場合に、ローレンツ力によって前記重錘体が Y 軸方向に運動  $U_y$  を生じるように構成し、

Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  と前記運動  $U_y$  とに基づいて作用する X 軸方向のコリオリ力  $F_x$  によって、前記重錘体が X 軸方向に変位したことを、前記検出用導電路に発生する起電力  $E_y$  に基づいて検出できるように構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の角速度センサにおいて、

X Y Z 三次元座標系の X Y 平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点 O が定義された基板を重錘体として用い、

X 軸に沿って伸び、Y 軸の負の部分に交差する第 1 の導電路と、X 軸に沿って伸び、Y 軸の正の部分に交差する

第 2 の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、

Y 軸に沿って伸び、X 軸の負の部分に交差する第 3 の導電路と、Y 軸に沿って伸び、X 軸の正の部分に交差する第 4 の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の角速度センサにおいて、

互いに直交する X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸によって定義される X Y Z 三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、

励起用導電路および検出用導電路を実質的に X 軸に沿って配置し、

磁界発生手段が、Z 軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度が Z 軸方向に関して不均一となるような磁束  $\phi_z d$  からなる磁界を発生するようにし、前記励起用導電路に電流  $I_x$  を供給した場合に、ローレンツ力によって前記重錘体が Y 軸方向に運動  $U_y$  を生じるように構成し、

X 軸まわりの角速度  $\omega_x$  と前記運動  $U_y$  とに基づいて作用する Z 軸方向のコリオリ力  $F_z$  によって、前記重錘体が Z 軸方向に変位したことを、前記検出用導電路に発生する起電力  $E_x$  に基づいて検出できるように構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の角速度センサにおいて、

X Y Z 三次元座標系の X Y 平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点 O が定義された基板を重錘体として用い、

X 軸に沿って伸び、Y 軸の負の部分に交差する第 1 の導電路と、X 軸に沿って伸び、Y 軸の正の部分に交差する第 2 の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、

前記第 1 の導電路の脇に沿って伸びる第 3 の導電路と、

前記第 2 の導電路の脇に沿って伸びる第 4 の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の角速度センサにおいて、

互いに直交する X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸によって定義される X Y Z 三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、

励起用導電路を、実質的に X 軸に沿って配置された X 方向励起用導電路と、実質的に Y 軸に沿って配置された Y 方向励起用導電路とによって構成し、

検出用導電路を、実質的に X 軸に沿って配置された X 方向検出用導電路と、実質的に Y 軸に沿って配置された Y 方向検出用導電路とによって構成し、

磁界発生手段が、Z 軸に平行な成分を有し、かつ磁束密

度がZ軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi_z d$ からなる磁界を発生するようにし、前記X方向励起用導電路に電流 $I_x$ を供給した場合に、ローレンツ力によって前記重錘体がY軸方向に運動 $U_y$ を生じるように構成し、前記Y方向励起用導電路に電流 $I_y$ を供給した場合に、ローレンツ力によって前記重錘体がX軸方向に運動 $U_x$ を生じるように構成し、

X軸まわりの角速度 $\omega_x$ と前記運動 $U_y$ とに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力 $F_z$ によって、前記重錘体がZ軸方向に変位したことを、前記X方向検出用導電路に発生する起電力 $E_x$ に基づいて検出し、

Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ と前記運動 $U_x$ とに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力 $F_z$ によって、前記重錘体がZ軸方向に変位したことを、前記Y方向検出用導電路に発生する起電力 $E_y$ に基づいて検出し、

Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ と前記運動 $U_y$ とに基づいて作用するX軸方向のコリオリ力 $F_x$ によって、前記重錘体がX軸方向に変位したことを、前記Y方向検出用導電路に発生する起電力 $E_y$ に基づいて検出できるように構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項7】 請求項6に記載の角速度センサにおいて、

XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、

X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第1の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路によりX方向励起用導電路を構成し、

Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第3の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第4の導電路と、の一对の導電路によりY方向励起用導電路を構成し、

X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第5の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第6の導電路と、の一对の導電路によりX方向検出用導電路を構成し、

Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第7の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第8の導電路と、の一对の導電路によりY方向検出用導電路を構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項8】 請求項7に記載の角速度センサにおいて、

第1～第4の導電路が、原点Oを中心として基板の上面に定義された第1の四角形の各辺に沿って配置され、第5～第8の導電路が、原点Oを中心として基板の上面に定義され前記第1の四角形よりも大きな第2の四角形の各辺に沿って配置されていることを特徴とする角速度センサ。

【請求項9】 請求項6～8のいずれかに記載の角速度

センサにおいて、

重錘体のZ軸方向の変位の検出に寄与する検出用導電路を設ける代わりに、前記重錘体に固定された変位電極と、この変位電極に対向するように装置筐体に固定された固定電極とを設け、前記変位電極と前記固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値に基づいて、前記重錘体のZ軸方向の変位を検出するようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項10】 請求項1に記載の角速度センサにおいて、

互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の3軸によって定義されるXYZ三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、励起用導電路および検出用導電路を実質的にY軸に沿って配置し、

磁界発生手段が、X軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がX軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi_x d$ からなる磁界を発生するようにし、前記励起用導電路に電流 $I_x$ を供給した場合に、ローレンツ力によって前記重錘体がZ軸方向に運動 $U_z$ を生じるように構成し、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ と前記運動 $U_z$ とに基づいて作用するX軸方向のコリオリ力 $F_x$ によって、前記重錘体がX軸方向に変位したことを、前記検出用導電路に発生する起電力 $E_y$ に基づいて検出できるように構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項11】 請求項10に記載の角速度センサにおいて、

XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、

Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第1の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、

前記第1の導電路の脇に沿って伸びる第3の導電路と、前記第2の導電路の脇に沿って伸びる第4の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項12】 請求項1～11のいずれかに記載の角速度センサにおいて、

中央部と、この中央部に対して所定間隔を置いてその周囲を取り囲む周囲部と、前記中央部と前記周囲部との間に形成され可撓性を有する可撓部と、を有する板状構造物を用意し、前記周囲部を台座を介して装置筐体に固定し、前記中央部を重錘体として用い、前記可撓部を接続部材として用いるようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項13】 請求項12に記載の角速度センサにおいて、

板状構造体を半導体基板により構成し、この半導体基板上に形成された不純物拡散層もしくは金属配線層を各導電路として用いるようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 14】 請求項 4～8 のいずれかに記載の角速度センサにおいて、

Z 軸の正の部分に第 1 の磁気ヘッドを配置し、Z 軸の負の部分に第 2 の磁気ヘッドを配置し、重錘体が前記第 1 の磁気ヘッドと前記第 2 の磁気ヘッドとの間に挟まれるように構成し、

磁気発生手段が、前記第 1 の磁気ヘッドと前記第 2 の磁気ヘッドとの間に Z 軸に平行な成分を有する磁束を発生させるようにし、

前記第 1 の磁気ヘッドの磁束発生部の面積と、前記第 2 の磁気ヘッドの磁束発生部の面積とが異なるように設定することにより、前記磁束の磁束密度が Z 軸方向に関して不均一となるようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 15】 請求項 10 または 11 に記載の角速度センサにおいて、

X 軸の正の部分に第 1 の磁気ヘッドを配置し、X 軸の負の部分に第 2 の磁気ヘッドを配置し、重錘体が前記第 1 の磁気ヘッドと前記第 2 の磁気ヘッドとの間に挟まれるように構成し、

磁気発生手段が、前記第 1 の磁気ヘッドと前記第 2 の磁気ヘッドとの間に X 軸に平行な成分を有する磁束を発生させるようにし、

前記第 1 の磁気ヘッドの磁束発生部の面積と、前記第 2 の磁気ヘッドの磁束発生部の面積とが異なるように設定することにより、前記磁束の磁束密度が X 軸方向に関して不均一となるようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 16】 請求項 1～15 のいずれかに記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、

励振用導電路に電流を供給する電流供給回路と、検出用導電路に発生する起電力を検出する電圧検出回路と、

前記電流供給回路に制御信号を与えるとともに、前記電圧検出回路が検出した起電力に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力する制御装置と、

を備えることを特徴とする角速度検出装置。

【請求項 17】 請求項 16 に記載の角速度検出装置において、制御装置が、電圧検出回路によって検出される起電力が基準値に保たれるように、磁気発生手段に対して磁界の強度を制御するフィードバック信号を与える機能をもったフィードバック制御装置によって構成され、前記フィードバック信号に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力することを特徴とする角速度検出装置

置。

【請求項 18】 請求項 16 または 17 に記載の角速度検出装置において、

電流供給回路が所定の励起用導電路に交流電流を供給する機能を有し、重錘体を所定軸方向に振動させた状態で、角速度検出を行うことを特徴とする角速度検出装置。

【請求項 19】 請求項 6～9 のいずれかに記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、

第 1 の交流電流を X 方向励起用導電路に供給するとともに、前記第 1 の交流電流に対して  $\pi/2$  だけ位相がずれた第 2 の交流電流を Y 方向励起用導電路に供給する電流供給回路と、

検出用導電路に発生する交流起電力を検出する電圧検出回路と、

前記電流供給回路に制御信号を与えるとともに、前記電圧検出回路が検出した起電力に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力する制御装置と、

を備え、重錘体を XY 平面内で回転運動させながら、所定の回転位置で検出された起電力に基づいて角速度検出を行うことを特徴とする角速度検出装置。

【請求項 20】 請求項 1 に記載の角速度センサにおいて、

複数の重錘体を装置筐体内に設け、前記各重錘体と前記配置筐体との間および前記複数の重錘体相互間を接続部材によって接続することにより、前記各重錘体がそれぞれ前記装置筐体に対して所定の自由度をもって運動可能となるようにし、

前記複数の重錘体を運動させた状態において、所定の重錘体に作用するコリオリ力を検出し、この検出結果に基づいて角速度の検出を行うことができるようにしたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 21】 請求項 20 に記載の角速度センサにおいて、

所定の配置軸に沿って所定間隔をあけて第 1 の重錘体および第 2 の重錘体を配置し、前記第 1 の重錘体および前記第 2 の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、前記第 1 の重錘体と前記第 2 の重錘体とを相互に接続部材を介して接続したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 22】 請求項 20 に記載の角速度センサにおいて、

所定の配置軸に沿って所定間隔をあけて第 1 の重錘体、第 2 の重錘体および第 3 の重錘体を配置し、前記第 1 の重錘体、前記第 2 の重錘体、前記第 3 の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、前記第 1 の重錘体と前記第 2 の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第 2 の重錘体と前記第 3 の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第 1 の重錘体および

前記第3の重錘体には導電路として励振用導電路を形成し、前記第2の重錘体には導電路として検出用導電路を形成したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項23】 請求項20に記載の角速度センサにおいて、

所定間隔dをおいて互いに平行な第1の軸および第2の軸と、同じく所定間隔dをおいて互いに平行な第3の軸および第4の軸とを、前記第1の軸および前記第2の軸が前記第3の軸および前記第4の軸に直交するように定義し、

前記第1の軸と前記第3の軸との交点に第1の重錘体を、前記第1の軸と前記第4の軸との交点に第2の重錘体を、前記第2の軸と前記第3の軸との交点に第3の重錘体を、前記第2の軸と前記第4の軸との交点に第4の重錘体を、それぞれ配置し、

前記第1の重錘体、前記第2の重錘体、前記第3の重錘体、前記第4の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、前記第1の重錘体と前記第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第1の重錘体と前記第3の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第2の重錘体と前記第3の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第3の重錘体と前記第4の重錘体とを相互に接続部材を介して接続したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項24】 請求項20に記載の角速度センサにおいて、

第1の軸と第2の軸とを互いに所定の交点において直交するように定義し、

前記第1の軸の前記交点の両側に第1の重錘体および第2の重錘体を配置し、前記第2の軸の前記交点の両側に第3の重錘体および第4の重錘体を配置し、前記第1の重錘体、前記第2の重錘体、前記第3の重錘体、前記第4の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、前記第1の重錘体と前記第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、前記第3の重錘体と前記第4の重錘体とを相互に接続部材を介して接続したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項25】 請求項24に記載の角速度センサにおいて、

第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続する接続部材と、第3の重錘体と第4の重錘体とを相互に接続する接続部材とを、第1の軸および第2の軸の交点位置の連結点において連結し、前記連結点を装置筐体に固定したことを特徴とする角速度センサ。

【請求項26】 請求項21に記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、第1の重錘体と第2の重錘体とを配置軸に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給する機能を有し、前記第1の重錘体に基づく検出値と前記第2の重錘体に基づく検出値との差

に基づいて最終的な角速度の検出値を出力することを特徴とする角速度検出装置。

【請求項27】 請求項22に記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、第1の重錘体と第3の重錘体とを配置軸に沿って互いに同方向に振動させるために、前記第1の重錘体および前記第3の重錘体上の励振用導電路に所定の交流電流を供給する機能を有し、第2の重錘体上の検出用導電路に発生する起電力に基づいて角速度の検出を行うことを特徴とする角速度検出装置。

【請求項28】 請求項23に記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、第1の軸と第3の軸との交点と第2の軸と第4の軸との交点とを連結する方向を第1の振動方向と定義し、第1の軸と第4の軸との交点と第2の軸と第3の軸との交点とを連結する方向を第2の振動方向と定義し第1の重錘体および第4の重錘体を前記第1の方向に沿って互いに逆方向に振動させ、第2の重錘体および第3の重錘体を前記第2の方向に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給する機能を有し、前記第1の重錘体に基づく検出値と前記第4の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力し、前記第2の重錘体に基づく検出値と前記第3の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力することを特徴とする角速度検出装置。

【請求項29】 請求項24に記載の角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置であって、第1の重錘体および第2の重錘体を第1の軸に沿って互いに逆方向に振動させ、第3の重錘体および第4の重錘体を第2の軸に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給する機能を有し、前記第1の重錘体に基づく検出値と前記第2の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力し、前記第3の重錘体に基づく検出値と前記第4の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力することを特徴とする角速度検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は角速度センサおよび角速度検出装置に関し、特に、多軸まわりの角速度検出に適した角速度センサおよびこのセンサを用いて角速度検出を行う角速度検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】自動車産業や機械産業などでは、所定軸まわりの角速度を正確に検出できる角速度センサの需要が高まってきている。一般に、三次元空間内において自由運動をする物体には、任意の向きの加速度とともに任意の回転方向の角速度が作用する。このため、この物体

の運動を正確に把握するためには、XYZ三次元座標系における各座標方向に関する加速度とともに、各座標軸まわりの角速度を検出する必要がある。

【0003】このような需要に応えるため、本発明者は、たとえば、特許協力約に基づく国際公開第WO94/23272号公報、特開平8-35981号公報、特開平8-68636号公報、特開平8-94661号公報、特開平8-226931号公報、特開平8-285608号公報などに、いくつかの角速度センサを提案した。これらの角速度センサによれば三次元の各軸まわりの角速度を検出することができる。これは、ある物体にX軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用している状態において、この物体をZ軸方向に運動させると、Y軸方向にコリオリ力が作用するという原理を利用したものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これまで提案されてきた角速度センサは、構造的にまだまだ複雑な部分が多く、大量生産によるコストダウンを図る上で問題が生じていた。そこで本発明は、構造をより単純化することが可能な角速度センサおよび用いた角速度検出装置を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】(1) 本発明の第1の態様は、互いに直交する第1の軸、第2の軸、第3の軸によって定義される三次元座標系において、少なくとも第1の軸まわりの角速度を検出する角速度センサにおいて、三次元座標系の空間内で運動可能な重錘体と、この重錘体を収容する装置筐体と、重錘体を装置筐体に対して、所定の自由度をもって運動可能となるように接続する接続部材と、重錘体上に形成された励振用導電路および検出用導電路と、励振用導電路および検出用導電路が位置する空間に、励振用導電路および検出用導電路のいずれに対しても磁束が平行にはならないような磁界を発生させる磁界発生手段と、を設け、励振用導電路に電流を供給した場合に、この電流と磁界との相互作用に基づくローレンツ力によって重錘体が第2の軸方向に運動するように励振用導電路を配置し、第1の軸まわりの角速度と第2の軸方向の運動とに基づいて第3の軸方向に作用するコリオリ力によって、重錘体が第3の軸方向に変位したことを、検出用導電路に発生する起電力に基づいて検出することができるように検出用導電路を配置するようにしたものである。

【0006】(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る角速度センサにおいて、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の3軸によって定義されるXYZ三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、励起用導電路を実質的にX軸に沿って配置し、検出用導電路を実質的にY軸に沿って配置し、磁界発生手段が、Z軸に平行な成分を有する磁束 $\phi$

zからなる磁界を発生するようにし、励起用導電路に電流I<sub>x</sub>を供給した場合に、ローレンツ力によって重錘体がY軸方向に運動U<sub>y</sub>を生じるように構成し、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ と運動U<sub>y</sub>とに基づいて作用するX軸方向のコリオリ力F<sub>x</sub>によって、重錘体がX軸方向に変位したことを、検出用導電路に発生する起電力E<sub>y</sub>に基づいて検出できるように構成したものである。

【0007】(3) 本発明の第3の態様は、上述の第2の態様に係る角速度センサにおいて、XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第1の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第3の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第4の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したものである。

【0008】(4) 本発明の第4の態様は、上述の第1の態様に係る角速度センサにおいて、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の3軸によって定義されるXYZ三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、励起用導電路および検出用導電路を実質的にX軸に沿って配置し、磁界発生手段が、Z軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がZ軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi_z$ からなる磁界を発生するようにし、励起用導電路に電流I<sub>x</sub>を供給した場合に、ローレンツ力によって重錘体がY軸方向に運動U<sub>y</sub>を生じるように構成し、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ と運動U<sub>y</sub>とに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力F<sub>z</sub>によって、重錘体がZ軸方向に変位したことを、検出用導電路に発生する起電力E<sub>x</sub>に基づいて検出できるように構成したものである。

【0009】(5) 本発明の第5の態様は、上述の第4の態様に係る角速度センサにおいて、XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第1の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、第1の導電路の脇に沿って伸びる第3の導電路と、第2の導電路の脇に沿って伸びる第4の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したものである。

【0010】(6) 本発明の第6の態様は、上述の第1の態様に係る角速度センサにおいて、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の3軸によって定義されるXYZ三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、励起用導電路を、実質的にX軸に沿



って配置されたX方向励起用導電路と、実質的にY軸に沿って配置されたY方向励起用導電路とによって構成し、検出用導電路を、実質的にX軸に沿って配置されたX方向検出用導電路と、実質的にY軸に沿って配置されたY方向検出用導電路とによって構成し、磁界発生手段が、Z軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がZ軸方向に関して不均一となるような磁束  $\phi_z$  からの磁界を発生するようにし、X方向励起用導電路に電流  $I_x$  を供給した場合に、ローレンツ力によって重錘体がY軸方向に運動  $U_y$  を生じるように構成し、Y方向励起用導電路に電流  $I_y$  を供給した場合に、ローレンツ力によって重錘体がX軸方向に運動  $U_x$  を生じるように構成し、X軸まわりの角速度  $\omega_x$  と運動  $U_y$  とに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力  $F_z$  によって、重錘体がZ軸方向に変位したことを、X方向検出用導電路に発生する起電力  $E_x$  に基づいて検出し、Y軸まわりの角速度  $\omega_y$  と運動  $U_x$  とに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力  $F_z$  によって、重錘体がZ軸方向に変位したことを、Y方向検出用導電路に発生する起電力  $E_y$  に基づいて検出できるように構成したものである。

【0011】(7) 本発明の第7の態様は、上述の第6の態様に係る角速度センサにおいて、XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第1の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路によりX方向励起用導電路を構成し、Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第3の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第4の導電路と、の一对の導電路によりY方向励起用導電路を構成し、X軸に沿って伸び、Y軸の負の部分に交差する第5の導電路と、X軸に沿って伸び、Y軸の正の部分に交差する第6の導電路と、の一对の導電路によりX方向検出用導電路を構成し、Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第7の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第8の導電路と、の一对の導電路によりY方向検出用導電路を構成したものである。

【0012】(8) 本発明の第8の態様は、上述の第7の態様に係る角速度センサにおいて、第1～第4の導電路が、原点Oを中心として基板の上面に定義された第1の四角形の各辺に沿って配置され、第5～第8の導電路が、原点Oを中心として基板の上面に定義された第1の四角形よりも大きな第2の四角形の各辺に沿って配置されるようにしたものである。

【0013】(9) 本発明の第9の態様は、上述の第6

～第8の態様に係る角速度センサにおいて、重錘体のZ軸方向の変位の検出に寄与する検出用導電路を設ける代わりに、重錘体に固定された変位電極と、この変位電極に対向するように装置筐体に固定された固定電極とを設け、変位電極を固定電極とによって構成される容量素子の静電容量値に基づいて、重錘体のZ軸方向の変位を検出するようにしたものである。

【0014】(10) 本発明の第10の態様は、上述の第1の態様に係る角速度センサにおいて、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の3軸によって定義されるXYZ三次元座標系において、これら各軸の方向に所定の自由度をもって運動が可能となるように重錘体を接続部材によって装置筐体に接続し、励起用導電路および検出用導電路を実質的にY軸に沿って配置し、磁界発生手段が、X軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がX軸方向に関して不均一となるような磁束  $\phi_x$  からの磁界を発生するようにし、励起用導電路に電流  $I_y$  を供給した場合に、ローレンツ力によって重錘体がZ軸方向に運動  $U_z$  を生じるように構成し、Y軸まわりの角速度  $\omega_y$  と運動  $U_z$  とに基づいて作用するX軸方向のコリオリ力  $F_x$  によって、重錘体がX軸方向に変位したことを、検出用導電路に発生する起電力  $E_y$  に基づいて検出できるように構成したものである。

【0015】(11) 本発明の第11の態様は、上述の第10の態様に係る角速度センサにおいて、XYZ三次元座標系のXY平面内に上面が含まれ、この上面の中央部に原点Oが定義された基板を重錘体として用い、Y軸に沿って伸び、X軸の負の部分に交差する第1の導電路と、Y軸に沿って伸び、X軸の正の部分に交差する第2の導電路と、の一对の導電路により励起用導電路を構成し、第1の導電路の脇に沿って伸びる第3の導電路と、第2の導電路の脇に沿って伸びる第4の導電路と、の一对の導電路により検出用導電路を構成したものである。

【0016】(12) 本発明の第12の態様は、上述の第1～第11の態様に係る角速度センサにおいて、中央部と、この中央部に対して所定間隔をおいてその周囲を取り囲む周囲部と、中央部と周囲部との間に形成され可換性を有する可換部と、を有する板状構造体を用意し、周囲部を台座を介して装置筐体に固定し、中央部を重錘体として用い、可換部を接続部材として用いるようにしたものである。

【0017】(13) 本発明の第13の態様は、上述の第12の態様に係る角速度センサにおいて、板状構造体を半導体基板により構成し、この半導体基板上に形成された不純物拡散層もしくは金属配線層を各導電路として用いるようにしたものである。

【0018】(14) 本発明の第14の態様は、上述の第4～第8の態様に係る角速度センサにおいて、Z軸の正の部分に第1の磁気ヘッドを配置し、Z軸の負の部分に第2の磁気ヘッドを配置し、重錘体が第1の磁気ヘッド

と第2の磁気ヘッドとの間に挟まれるように構成し、磁気発生手段が、第1の磁気ヘッドと第2の磁気ヘッドとの間にZ軸に平行な成分を有する磁束を発生させるようにし、第1の磁気ヘッドの磁束発生部の面積と、第2の磁気ヘッドの磁束発生部の面積とが異なるように設定することにより、磁束の磁束密度がZ軸方向に関して不均一となるようにしたものである。

【0019】(15) 本発明の第15の態様は、上述の第10または第11の態様に係る角速度センサにおいて、X軸の正の部分に第1の磁気ヘッドを配置し、X軸の負の部分に第2の磁気ヘッドを配置し、重錘体が第1の磁気ヘッドと第2の磁気ヘッドとの間に挟まれるように構成し、磁気発生手段が、第1の磁気ヘッドと第2の磁気ヘッドとの間にX軸に平行な成分を有する磁束を発生させるようにし、第1の磁気ヘッドの磁束発生部の面積と、第2の磁気ヘッドの磁束発生部の面積とが異なるように設定することにより、磁束の磁束密度がX軸方向に関して不均一となるようにしたものである。

【0020】(16) 本発明の第16の態様は、上述の第1～第15の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、励振用導電路に電流を供給する電流供給回路と、検出用導電路に発生する起電力を検出する電圧検出回路と、電流供給回路に制御信号を与えるとともに、電圧検出回路が検出した起電力に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力する制御装置と、を設けるようにしたものである。

【0021】(17) 本発明の第17の態様は、上述の第16の態様に係る角速度検出装置において、制御装置が、電圧検出回路によって検出される起電力が基準値に保たれるように、磁界発生手段に対して磁界の強度を制御するフィードバック信号を与える機能をもったフィードバック制御装置によって構成され、フィードバック信号に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力するようにしたものである。

【0022】(18) 本発明の第18の態様は、上述の第16または第17の態様に係る角速度検出装置において、電流供給回路が所定の励起用導電路に交流電流を供給する機能を有し、重錘体を所定軸方向に振動させた状態で、角速度検出を行うようにしたものである。

【0023】(19) 本発明の第19の態様は、上述の第6～第9の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、第1の交流電流をX方向励起用導電路に供給するとともに、第1の交流電流に対して $\pi/2$ だけ位相がずれた第2の交流電流をY方向励起用導電路に供給する電流供給回路と、検出用導電路に発生する交流起電力を検出する電圧検出回路と、電流供給回路に制御信号を与えると、電圧検出回路が検出した起電力に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を出力する制御装置と、を設け、

重錘体をXY平面内で回転運動させながら、所定の回転位置で検出された起電力に基づいて角速度検出を行うことができるようにしたものである。

【0024】(20) 本発明の第20の態様は、上述の第1の態様に係る角速度センサにおいて、複数の重錘体を装置筐体内に設け、各重錘体と装置筐体との間および複数の重錘体相互間を接続部材によって接続することにより、各重錘体がそれぞれ装置筐体に対して所定の自由度をもって運動可能となるようにし、複数の重錘体を運動させた状態において、所定の重錘体に作用するコリオリ力を検出し、この検出結果に基づいて角速度の検出を行うことができるようにしたものである。

【0025】(21) 本発明の第21の態様は、上述の第20の態様に係る角速度センサにおいて、所定の配置軸に沿って所定間隔をあけて第1の重錘体および第2の重錘体を配置し、第1の重錘体および第2の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続するようにしたものである。

【0026】(22) 本発明の第22の態様は、上述の第20の態様に係る角速度センサにおいて、所定の配置軸に沿って所定間隔をあけて第1の重錘体、第2の重錘体および第3の重錘体を配置し、第1の重錘体、第2の重錘体、第3の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、第2の重錘体と第3の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、第1の重錘体および第3の重錘体には導電路として励振用導電路を形成し、第2の重錘体には導電路として検出用導電路を形成するようにしたものである。

【0027】(23) 本発明の第23の態様は、上述の第20の態様に係る角速度センサにおいて、所定間隔dにおいて互いに平行な第1の軸および第2の軸と、同じく所定間隔dにおいて互いに平行な第3の軸および第4の軸とを、第1の軸および第2の軸が第3の軸および第4の軸に直交するように定義し、第1の軸と第3の軸との交点に第1の重錘体を、第1の軸と第4の軸との交点に第2の重錘体を、第2の軸と第3の軸との交点に第3の重錘体を、第2の軸と第4の軸との交点に第4の重錘体を、それぞれ配置し、第1の重錘体、第2の重錘体、第3の重錘体、第4の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、第3の重錘体と第4の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、第4の重錘体と第3の重錘体とを相互に接続部材を介して接続するようにしたものである。

【0028】(24) 本発明の第24の態様は、上述の第20の態様に係る角速度センサにおいて、第1の軸と第2の軸とを互いに所定の交点において直交するように定

義し、第1の軸の交点の両側に第1の重錘体および第2の重錘体を配置し、第2の軸の交点の両側に第3の重錘体および第4の重錘体を配置し、第1の重錘体、第2の重錘体、第3の重錘体、第4の重錘体をそれぞれ接続部材を介して装置筐体に接続し、更に、第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続部材を介して接続し、第3の重錘体と第4の重錘体とを相互に接続部材を介して接続するようにしたものである。

【0029】(25) 本発明の第25の態様は、上述の第24の態様に係る角速度センサにおいて、第1の重錘体と第2の重錘体とを相互に接続する接続部材と、第3の重錘体と第4の重錘体とを相互に接続する接続部材とを、第1の軸および第2の軸の交点位置の連結点において連結し、この連結点を装置筐体に固定するようにしたものである。

【0030】(26) 本発明の第26の態様は、上述の第21の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、第1の重錘体と第2の重錘体とを配置軸に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給するようにし、第1の重錘体に基づく検出値と第2の重錘体に基づく検出値との差に基づいて最終的な角速度の検出値を出力するようにしたものである。

【0031】(27) 本発明の第27の態様は、上述の第22の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、第1の重錘体と第3の重錘体とを配置軸に沿って互いに同方向に振動させるために、第1の重錘体および第3の重錘体上の励振用導電路に所定の交流電流を供給するようにし、第2の重錘体上の検出用導電路に発生する起電力に基づいて角速度の検出を行うようにしたものである。

【0032】(28) 本発明の第28の態様は、上述の第23の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、第1の軸と第3の軸との交点と第2の軸と第4の軸との交点とを連結する方向を第1の振動方向と定義し、第1の軸と第4の軸との交点と第2の軸と第3の軸との交点とを連結する方向を第2の振動方向と定義し、第1の重錘体および第4の重錘体を第1の方向に沿って互いに逆方向に振動させ、第2の重錘体および第3の重錘体を第2の方向に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給するようにし、第1の重錘体に基づく検出値と第4の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力し、第2の重錘体に基づく検出値と第3の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力するようにしたものである。

【0033】(29) 本発明の第29の態様は、上述の第24の態様に係る角速度センサを用いて角速度検出を行うための角速度検出装置において、第1の重錘体および

第2の重錘体を第1の軸に沿って互いに逆方向に振動させ、第3の重錘体および第4の重錘体を第2の軸に沿って互いに逆方向に振動させるために、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給するようにし、第1の重錘体に基づく検出値と第2の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力し、第3の重錘体に基づく検出値と第4の重錘体に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力するようにしたものである。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示する実施形態に基づいて説明する。

【0035】§1. 本発明に係る角速度センサの基本原理

<<< 1. 1 角速度センサの構造 >>>はじめに、本発明に係る角速度センサにおける角速度検出の基本原理解を述べる。いま、図1に示すように、重錘体10が接続部材20によって装置筐体30に接続されている場合を考える。本発明に係る角速度センサを実現する上で、重錘体10の形状は特に限定されないが、後述するように、重錘体10上には所定方向を向いた導電路を形成する必要があるため、図示のような基板状の形態をした重錘体10を用いるのが好ましい。また、このような基板状の重錘体10は、半導体製造プロセスなどを利用して大量生産する場合にも適している。ここでは説明の便宜上、この基板状の重錘体10の上面中心位置に原点Oをとり、図示の向きにX軸、Y軸、Z軸をとり、XYZ三次元座標系を定義することにする。重錘体10の上面はXY平面に含まれることになる。なお、図が複雑になるのを避けるため、図面上では、座標系を示すダイアグラムを重錘体10の右脇に離して示すことにするが、実際には、この座標系を示すダイアグラムは重錘体10上の原点O上に位置すべきものである。

【0036】重錘体10は、このXYZ三次元座標系の空間内で運動可能であるが、その自由度は、接続部材20によって決定することになる。図示の例では、接続部材20をばねで構成した例が示されているが、接続部材20は、重錘体10を装置筐体30に対して、所定の自由度をもって運動可能となるように接続することができれば、どのような部材で構成しても構わない。一般的には、ばねのような弾力性部材や弾性変形が可能な可換性部材によって接続部材20を構成すればよい。重錘体10は、方向に関してはX軸、Y軸、Z軸の各方向に運動可能となるような自由度を有し、可動距離に関しては、後述する原理に基づく角速度の検出に必要な精度で行うことができる程度の自由度を有していればよい。図示の例では、4本のばねからなる接続部材20によって、重錘体10の四辺をそれぞれ装置筐体30に接続しているが、上述した運動自由度を確保することができれば、どのような形態で重錘体10を装置筐体30に接続

してもかまわない。

【0037】装置筐体30は、少なくとも重錘体10を収容するのに十分な大きさをもった入れ物であり、重錘体10はこの装置筐体30内の空間において、所定の自由度で運動することになる。図では、装置筐体30のうち、接続部材20が固定された部分のみが示されているが、実際には、重錘体10は装置筐体30によって周囲を取り囲まれていることになる。

【0038】重錘体10の上面には、一対の励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ が形成されている。図1に示す例では、励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ はいずれもX軸に沿って（長手方向がX軸に平行になるように）配置されている。後述するように、本発明に係る角速度センサでは、重錘体10上に励振用導電路と検出用導電路という2種類の導電路が形成されることになるが、この2種類の分類は、利用形態の違いに基づく概念の分類であり、両者に物理的な相違はない。要するに、本発明に用いられる導電路は、所定の方向を向いた電流の通り道として機能するものであれば、どのような構造、材質のものを用いてもかまわない。もちろん、導電路自身は導電性材料によって構成する必要があり、また、重錘体10の少なくとも導電路との接触面は絶縁性材料によって構成する必要がある。なお、重錘体10をシリコンなどの半導体基板上で構成し、この半導体基板の表面上の不純物拡散層または配線用金属材料によって導電路を構成すれば、一般的な半導体プレーナプロセスあるいはマイクロマシニングプロセスを用いて重錘体10および導電路を形成することが可能になり、大量生産を行う上で好ましい。

【0039】<<< 1.2 Y軸方向への運動（図1）>>>さて、このような重錘体10の近傍に、磁界発生手段40によって磁界を発生させてみる。ここでは、磁界発生手段40によって、Z軸方向に平行な磁束 $\phi_z$ を発生させたものとし、磁界発生手段40としては、永久磁石を用いてもよいし、コイルなどを用いた電磁石を用いてもよい。上述したように、重錘体10の上面はXY平面上にあるので、磁束 $\phi_z$ は重錘体10の上面に垂直な磁束になる。当然、X軸に沿って配置された励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ は、Z軸方向を向いた磁束 $\phi_z$ に対して直交する。そこで、このような環境下において、励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ に電流 $I_x$ を供給した場合を考えてみる（図1に示す矢印 $I_x$ は、この電流の方向を示している）。

【0040】この例のように、Z軸方向を向いた磁束 $\phi_z$ が存在する空間に、X軸方向を向いた導電路を形成し、この導電路に電流 $I_x$ を流すと、この導電路に対してY軸方向にローレンツ力が作用することが知られている。したがって、励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ には、Y軸方向のローレンツ力が作用する。しかも、重錘体10はY軸方向に関してある程度の自由度をもって運動可能な構造となっているので、このローレンツ力によって重

錘体10はY軸方向の運動 $U_y$ を生じることになる。運動 $U_y$ の向き（Y軸の正方向か負方向か）は、電流 $I_x$ の向き（X軸の正方向か負方向か）に依存して定まり、運動 $U_y$ の大きさは、電流 $I_x$ の大きさ（および磁束 $\phi_z$ の密度）に依存して定まる。そこで、電流 $I_x$ として交流電流を供給すれば、運動 $U_y$ は振動運動となり、重錘体10はY軸方向に振動することになる。

【0041】<<< 1.3 運動 $U_y$ による角速度 $\omega_x$ の検出（図2）>>>さて、このように交流電流 $I_x$ を励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ に供給することにより重錘体10にY軸方向の振動運動 $U_y$ を生じさせた状態において、この角速度センサ全体に、図2に示すようなX軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用した場合を考える。一般に、Y軸方向に運動中の物体に、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用すると、Z軸方向にコリオリ力が作用することが知られている。したがって、上述の場合も、図2に示すように、重錘体10に対してZ軸方向のコリオリ力 $F_z$ が作用することになる。コリオリ力 $F_z$ の向き（Z軸の正方向か負方向か）は、運動 $U_y$ の向き（Y軸の正方向か負方向か）および角速度 $\omega_x$ の向き（X軸を中心として右まわりか左まわりか）に依存して定まり、コリオリ力 $F_z$ の大きさは、運動 $U_y$ の大きさおよび角速度 $\omega_x$ の大きさに依存して定まる。

【0042】上述したように、運動 $U_y$ がY軸方向に沿った振動運動である場合は、角速度 $\omega_x$ が一定であったとしても、コリオリ力 $F_z$ は正弦波のグラフで示される周期関数となる。このため、重錘体10には周期的にZ軸正方向（図の上方）およびZ軸負方向（図の下方）のコリオリ力が加わることになり、重錘体10はY軸方向に振動運動 $U_y$ を行いながら、コリオリ力 $F_z$ に基づいてZ軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、重錘体10のZ軸方向に関する変位は、この角速度センサ全体に作用したX軸まわりの角速度 $\omega_x$ に対応するものになり、この変位を検出することができれば、角速度 $\omega_x$ に関する情報を得ることができる。すなわち、角速度 $\omega_x$ の向き（X軸を中心として右まわりか左まわりか）に関する情報は、Y軸方向に沿った振動運動 $U_y$ とZ軸方向に沿った振動運動との位相関係に基づいて得ることができ、角速度 $\omega_x$ の大きさに関する情報は、Z軸方向に沿った振動運動の振幅に基づいて得ることができる。

【0043】<<< 1.4 運動 $U_y$ による角速度 $\omega_z$ の検出（図3）>>>次に、交流電流 $I_x$ を励振用導電路 $Lx1$ 、 $Lx2$ に供給することにより重錘体10にY軸方向の振動運動 $U_y$ を生じさせた状態において、この角速度センサ全体に、図3に示すようなZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用した場合を考える。一般に、Y軸方向に運動中の物体に、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用すると、X軸方向にコリオリ力が作用することが知られている。したがって、上述の場合も、図3に示すように、

重錘体 10 に対して X 軸方向のコリオリ力  $F_x$  が作用することになる。コリオリ力  $F_x$  の向き (X 軸の正方向か負方向か) は、運動  $U_y$  の向き (Y 軸の正方向か負方向か) および角速度  $\omega_z$  の向き (Z 軸を中心として右まわりか左まわりか) に依存して定まり、コリオリ力  $F_x$  の大きさは、運動  $U_y$  の大きさおよび角速度  $\omega_z$  の大きさに依存して定まる。

【0044】上述したように、運動  $U_y$  が Y 軸方向に沿った振動運動である場合は、角速度  $\omega_z$  が一定であったとしても、コリオリ力  $F_x$  は正弦波のグラフで示される周期関数となる。このため、重錘体 10 には周期的に X 軸正方向および X 軸負方向のコリオリ力が加わることになり、重錘体 10 は Y 軸方向に振動運動  $U_y$  を行いながら、コリオリ力  $F_x$  に基づいて X 軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、重錘体 10 の X 軸方向に関する変位は、この角速度センサ全体に作用した Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  に対応するものになり、この変位を検出することができる。すなわち、角速度  $\omega_z$  の向き (Z 軸を中心として右まわりか左まわりか) に関する情報は、Y 軸方向に沿った振動運動  $U_y$  と X 軸方向に沿った振動運動との位相関係に基づいて得ることができ、角速度  $\omega_z$  の大きさに関する情報は、X 軸方向に沿った振動運動の振幅に基づいて得ることができる。

【0045】<<< 1.5 X 軸方向への運動 (図 4) >>>以上、重錘体 10 に対して Y 軸方向に沿った振動運動  $U_y$  を生じさせた状態において角速度を検出する例を示したが、全く同様にして、重錘体 10 に対して X 軸方向に沿った振動運動  $U_x$  を生じさせた状態において角速度を検出することも可能である。重錘体 10 を X 軸方向に運動させるためには、図 4 に示すように、重錘体 10 の上面に一对の励振用導電路  $L_y1$ ,  $L_y2$  を形成すればよい。この励振用導電路  $L_y1$ ,  $L_y2$  はいずれも Y 軸に沿って (長手方向が Y 軸に平行になるように) 配置されている。ここで、境界発生手段 40 によって Z 軸方向に平行な磁束  $\phi_z$  を発生させ、励振用導電路  $L_y1$ ,  $L_y2$  に Y 軸方向を向いた電流  $I_y$  を流すと、X 軸方向のローレンツ力が作用することになり、重錘体 10 は X 軸方向の運動  $U_x$  を生じることになる。電流  $I_y$  として交流電流を供給すれば、運動  $U_x$  は振動運動となり、重錘体 10 は X 軸方向に振動することになる。

【0046】<<< 1.6 運動  $U_x$  による角速度  $\omega_y$  の検出 (図 5) >>>そこで、このように重錘体 10 に X 軸方向の振動運動  $U_x$  を生じさせた状態において、この角速度センサ全体に、図 5 に示すような Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  が作用した場合を考える。一般に、X 軸方向に運動中の物体に、Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  が作用すると、Z 軸方向にコリオリ力が作用することが知られている。したがって、上述の場合も、図 5 に示すよう

に、重錘体 10 に対して Z 軸方向のコリオリ力  $F_z$  が作用することになる。ここで、重錘体 10 の運動  $U_x$  が X 軸方向に沿った振動運動である場合は、角速度  $\omega_y$  が一定であったとしても、コリオリ力  $F_z$  は正弦波のグラフで示される周期関数となる。このため、重錘体 10 には周期的に Z 軸正方向 (図の上) および Z 軸負方向 (図の下) のコリオリ力が加わることになり、重錘体 10 は X 軸方向に振動運動  $U_x$  を行いながら、コリオリ力  $F_z$  に基づいて Z 軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、重錘体 10 の Z 軸方向に関する変位を検出することができれば、この角速度センサ全体に作用した Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  に関する情報を得ることができる。

【0047】<<< 1.7 運動  $U_x$  による角速度  $\omega_z$  の検出 (図 6) >>>また、この角速度センサ全体に、図 6 に示すような Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  が作用した場合は、X 軸方向に運動中の物体に、Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  が作用したことになるので、Y 軸方向にコリオリ力  $F_y$  が作用する。上述したように、運動  $U_x$  が X 軸方向に沿った振動運動である場合は、角速度  $\omega_z$  が一定であったとしても、コリオリ力  $F_y$  は正弦波のグラフで示される周期関数となる。このため、重錘体 10 には周期的に Y 軸正方向および Y 軸負方向のコリオリ力が加わることになり、重錘体 10 は X 軸方向に振動運動  $U_x$  を行いながら、コリオリ力  $F_y$  に基づいて Y 軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、重錘体 10 の Y 軸方向に関する変位を検出することができれば、この角速度センサ全体に作用した Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  に関する情報を得ることができる。

【0048】結局、本発明に係る角速度センサの基本原理解は、第 1 の軸まわりに作用する角速度を検出するために、磁界中に置かれた重錘体上に励振用導電路を形成して電流を供給し、磁界と電流との相互作用に基づくローレンツ力によって重錘体を第 2 の軸方向に運動させた状態にし、第 2 の軸方向への運動と第 1 の軸まわりの角速度とによって第 3 の軸方向にコリオリ力を作用させ、このコリオリ力による重錘体の第 3 の軸方向への変位を検出することにより、第 1 の軸まわりの角速度を検出する点にある。

#### 【0049】§2. コリオリ力に基づく変位の検出方法

さて、重錘体に対して所定軸方向の運動を生じさせる方法は、既に §1 の原理で述べたとおりである。すなわち、重錘体上に形成された励振用導電路に供給した電流と磁界との相互作用によりローレンツ力を作用させ、このローレンツ力に基づいて重錘体を運動させることになる。そこで、ここでは、コリオリ力に基づく重錘体の変位を検出する方法を説明する。

【0050】<<< 2.1 運動  $U_y$  による角速度  $\omega_z$  の検出 (図 7) >>>まず、図 3 に示すように、重

重錘体10にY軸方向の運動Uyを生じさせた状態において、作用したZ軸まわりの角速度 $\omega z$ を求めるために、コリオリ力Fxに基づくX軸方向の変位を検出する方法を述べる。このような検出を行うためには、図7に示すように、重錘体10上に検出用導電路Ky1、Ky2を設けておけばよい。図示のとおり、励振用導電路Lx1、Lx2がX軸方向に配置されているのに対し、検出用導電路Ky1、Ky2はY軸方向に配置されている。励振用導電路Lx1、Lx2に電流Ixを供給すると、磁界発生手段40によって生成された磁束 $\phi z$ との相互作用により、Y軸方向にローレンツ力が働き、重錘体10がY軸方向の運動Uyを生じることは、図3に示す例で述べたとおりである。このように、X軸方向の運動Uxを行っている重錘体10に対して、Z軸まわりの角速度 $\omega z$ が作用すると、X軸方向にコリオリ力Fxが作用し、重錘体10はX軸方向に変位する。ところが、重錘体10がX軸方向に変位すると、検出用導電路Ky1、Ky2には起電力Eyが生じる。これは、重錘体10のX軸方向への移動により、Y軸方向に配置された検出用導電路Ky1、Ky2が、Z軸方向を向いた磁束 $\phi z$ を横切ることになるからである（フレミングの右手の法則）。ここで生じる起電力Eyの向き（正負の極性）および大きさ（電圧値）は、運動Uyの向きおよび大きさと、角速度 $\omega z$ の向きおよび大きさに依存する。運動Uyの向きおよび大きさは、電流Ixの向きおよび大きさ（ならびに磁束 $\phi z$ ）に基づいて決定される既知の情報であるから、結局、起電力Eyの向きおよび大きさに関する情報が得られれば、角速度 $\omega z$ の向きおよび大きさに関する情報を得ることができる。

【0051】電流Iyとして交流電流を用いれば、前述したように、重錘体10の運動UyはY軸方向に沿った振動運動になるので、角速度 $\omega z$ が一定であったとしても、コリオリ力Fxは正弦波のグラフで示される周期関数となり、重錘体10はY軸方向に振動運動Uyを行いながら、コリオリ力Fxに基づいてX軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、検出用導電路Ky1、Ky2にも交流起電力Eyが発生することになる。結局、角速度 $\omega z$ の向き（Z軸を中心として右まわりか左まわりか）に関する情報は、励振用導電路Lx1、Lx2に供給した交流電流Ixと検出用導電路Ky1、Ky2に生じた交流起電力Eyとの位相関係に基づいて得ることができ、角速度 $\omega z$ の大きさにに関する情報は、交流起電力Eyの振幅に基づいて得ることができる。

【0052】<<< 2.2 運動Uxによる角速度 $\omega z$ の検出（図8） >>>次に、図6に示すように、重錘体10にX軸方向の運動Uxを生じさせた状態において、作用したZ軸まわりの角速度 $\omega z$ を求めるために、コリオリ力Fyに基づくY軸方向の変位を検出する方法を述べる。このような検出を行うためには、図8に示すように、重錘体10上に検出用導電路Kx1、Kx2を

設けておけばよい。図示のとおり、励振用導電路Ly1、Ly2がY軸方向に配置されているのに対し、検出用導電路Kx1、Kx2はX軸方向に配置されている。励振用導電路Ly1、Ly2に電流Iyを供給すると、磁界発生手段40によって生成された磁束 $\phi z$ との相互作用により、X軸方向にローレンツ力が働き、重錘体10がX軸方向の運動Uxを生じることは、図6に示す例で述べたとおりである。このように、X軸方向の運動Uxを行っている重錘体10に対して、Z軸まわりの角速度 $\omega z$ が作用すると、Y軸方向にコリオリ力Fyが作用し、重錘体10はY軸方向に変位する。ところが、重錘体10がY軸方向に変位すると、検出用導電路Kx1、Kx2には起電力Exが生じる。これは、重錘体10のY軸方向への移動により、X軸方向に配置された検出用導電路Kx1、Kx2が、Z軸方向を向いた磁束 $\phi z$ を横切ることになるからである（フレミングの右手の法則）。ここで生じる起電力Exの向き（正負の極性）および大きさ（電圧値）は、運動Uxの向きおよび大きさと、角速度 $\omega z$ の向きおよび大きさに依存する。運動Uxの向きおよび大きさは、電流Iyの向きおよび大きさ（ならびに磁束 $\phi z$ ）に基づいて決定される既知の情報であるから、結局、起電力Exの向きおよび大きさに関する情報が得られれば、角速度 $\omega z$ の向きおよび大きさに関する情報を得ることができる。

【0053】電流Iyとして交流電流を用いれば、前述したように、重錘体10の運動UxはX軸方向に沿った振動運動になるので、角速度 $\omega z$ が一定であったとしても、コリオリ力Fyは正弦波のグラフで示される周期関数となり、重錘体10はX軸方向に振動運動Uxを行いながら、コリオリ力Fyに基づいてY軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、検出用導電路Kx1、Kx2にも交流起電力Exが発生することになる。結局、角速度 $\omega z$ の向き（Z軸を中心として右まわりか左まわりか）に関する情報は、励振用導電路Ly1、Ly2に供給した交流電流Iyと検出用導電路Kx1、Kx2に生じた交流起電力Exとの位相関係に基づいて得ることができ、角速度 $\omega z$ の大きさにに関する情報は、交流起電力Exの振幅に基づいて得ることができる。

【0054】<<< 2.3 運動Uyによる角速度 $\omega x$ の検出（図9） >>>続いて、図2に示すように、重錘体10にY軸方向の運動Uyを生じさせた状態において、作用したX軸まわりの角速度 $\omega x$ を求めるために、コリオリ力Fzに基づくZ軸方向の変位を検出する方法を述べる。このような検出を行うためには、まず、図9に示すように、重錘体10上に検出用導電路Kx1、Kx2を設けるようにする。この場合、励振用導電路Lx1、Lx2も、検出用導電路Kx1、Kx2も、いずれもX軸方向に配置されている。更に、図9に示すように、磁界発生手段40の代わりに磁界発生手段50を用いるようにする。図2に示す磁界発生手段40は、

Z軸に平行な磁束 $\phi_z$ を発生する機能を有していた。これに対して、磁界発生手段50は、基本的にはほぼZ軸方向に向いているものの、Z軸方向に進めば進むほど広がりを生じるような磁束 $\phi_d$ を発生させる機能を有している。別言すれば、個々の磁力線はZ軸に平行な成分を有しているものの、磁束密度はZ軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi_d$ が発生することになる。したがって、たとえば、Z軸上の任意の点を $z_1$ 、 $z_2$ としたとき、 $Z = z_1$ で示される平面上の磁束密度と、 $Z = z_2$ で示される平面上の磁束密度とは異なることになる。

【0055】さて、ここで、励振用導回路Lx1、Lx2に電流I<sub>x</sub>を供給すると、磁界発生手段50によって生成された磁束 $\phi_d$ との相互作用により、Y軸方向にローレンツ力が働き、重錘体10がY軸方向の運動U<sub>y</sub>を生じる。上述したように、磁界発生手段50が発生する磁束 $\phi_d$ は、Z軸に平行な磁束ではないが、各磁力線の主たる成分はZ軸に平行な成分であるため、磁界発生手段40による磁束 $\phi_z$ を用いた場合とほぼ同様に、Y軸方向の運動U<sub>y</sub>を生じさせることができる。このように、Y軸方向の運動U<sub>y</sub>を行っている重錘体10に対して、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用すると、Z軸方向にコリオリ力F<sub>z</sub>が作用し、重錘体10はZ軸方向に変位する。このZ軸方向の変位そのものによれば、検出用導回路Kx1、Kx2に有意な起電力は生じない。上述したように、磁束 $\phi_d$ の磁力線の主たる成分はZ軸に平行な成分であるため、Z軸方向の変位に対しては有効な起電力が生じないからである。

【0056】しかしながら、重錘体10はY軸方向の運動U<sub>y</sub>を生じているため、この運動U<sub>y</sub>に基づいて検出用導回路Kx1、Kx2に起電力E<sub>x</sub>が生じることになる。これは、重錘体10がY軸方向へ運動すると、X軸方向に配置された検出用導回路Kx1、Kx2が、ほぼZ軸方向を向いた磁束 $\phi_d$ を横切ることになるからである（フレミングの右手の法則）。しかも、検出用導回路Kx1、Kx2に生じる起電力E<sub>x</sub>は、重錘体10のZ軸上の位置に応じて変化する。なぜなら、磁束 $\phi_d$ の磁束密度は、Z軸方向に関して不均一であるためである。たとえば、図9に示す磁束 $\phi_d$ は、図の上方（Z軸の正方向）へゆくにしたがって広がってゆくため、図の上方ほど磁束密度は小さくなり、図の下方ほど磁束密度は大きくなる。したがって、検出用導回路Kx1、Kx2に生じる起電力E<sub>x</sub>は、重錘体10がZ軸の正方向に変位した場合に小さくなり、逆に、重錘体10がZ軸の負方向に変位した場合に大きくなる。このように、検出用導回路Kx1、Kx2に生じる起電力E<sub>x</sub>の増減は、検出用導回路Kx1、Kx2が切った磁束 $\phi_d$ の密度を示すパラメータとなる。結局、起電力E<sub>x</sub>の増減を求めることによって重錘体10のZ軸方向の変位を検出することができ、Z軸方向に作用するコリオリ力F<sub>z</sub>を

検出することができ、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ を検出することができる。

【0057】電流I<sub>x</sub>として交流電流を用いれば、重錘体10の運動U<sub>y</sub>はY軸方向に沿った振動運動になるので、角速度 $\omega_y$ が一定であつたとしても、コリオリ力F<sub>z</sub>は正弦波のグラフで示される周期関数となり、重錘体10はY軸方向に振動運動U<sub>y</sub>を行いながら、コリオリ力F<sub>z</sub>に基づいてZ軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、検出用導回路Kx1、Kx2に発生する交流起電力E<sub>x</sub>は、半周期ごとに振幅が増減することになる。結局、角速度 $\omega_x$ の向き（X軸を中心として右まわりか左まわりか）に関する情報は、励振用導回路Lx1、Lx2に供給した交流電流I<sub>x</sub>と検出用導回路Kx1、Kx2に生じた交流起電力E<sub>x</sub>との位相関係に基づいて得ることができ、角速度 $\omega_x$ の大きさに関する情報は、交流起電力E<sub>x</sub>の振幅の増減の度合いに基づいて得ることができる。

【0058】<<< 2.4 運動U<sub>x</sub>による角速度 $\omega_y$ の検出（図10）>>>最後に、図5に示すように、重錘体10にX軸方向の運動U<sub>x</sub>を生じさせた状態において、作用したY軸まわりの角速度 $\omega_y$ を求めるために、コリオリ力F<sub>z</sub>に基づくZ軸方向の変位を検出する方法を述べる。このような検出を行うためには、まず、図10に示すように、重錘体10上に検出用導回路Ky1、Ky2を設けるようにする。この場合、励振用導回路Ly1、Ly2は、検出用導回路Ky1、Ky2も、いずれもY軸方向に配置されている。また、上述した図9の例と同様に、磁界発生手段50によって、Z軸に平行な成分を有し、Z軸方向に関して不均一な磁束密度を有する磁束 $\phi_d$ を生成する。

【0059】さて、この図10に示す例において、励振用導回路Ly1、Ly2に電流I<sub>y</sub>を供給すると、磁界発生手段50によって生成された磁束 $\phi_d$ との相互作用により、X軸方向にローレンツ力が働き、重錘体10がX軸方向の運動U<sub>x</sub>を生じる。上述したように、磁界発生手段50が発生する磁束 $\phi_d$ は、Z軸に平行な磁束ではないが、各磁力線の主たる成分はZ軸に平行な成分であるため、磁界発生手段40による磁束 $\phi_z$ を用いた場合とほぼ同様に、X軸方向の運動U<sub>x</sub>を生じさせることができる。このように、X軸方向の運動U<sub>x</sub>を行っている重錘体10に対して、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ が作用すると、Z軸方向にコリオリ力F<sub>z</sub>が作用し、重錘体10はZ軸方向に変位する。このZ軸方向の変位そのものによれば、検出用導回路Ky1、Ky2に有意な起電力は生じないが、図9の例と同様に、磁束 $\phi_d$ の磁束密度がZ軸方向に関して不均一であるため、Z軸方向の変位は検出用導回路Ky1、Ky2に生じる起電力E<sub>y</sub>の増減として検出することができる。結局、起電力E<sub>y</sub>の増減を求めることによって重錘体10のZ軸方向の変位を検出することができ、Z軸方向に作用するコ

オリ力  $F_z$  を検出することができ、Y軸まわりの角速度  $\omega_y$  を検出することができる。

【0060】電流  $I_y$  として交流電流を用いれば、重錘体 10 の運動  $U_x$  は X 軸方向に沿った振動運動になるので、角速度  $\omega_y$  が一定であったとしても、コリオリ力  $F_z$  は正弦波のグラフで示される周期関数となり、重錘体 10 は Y 軸方向に振動運動  $U_y$  を行いながら、コリオリ力  $F_z$  に基づいて Z 軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、検出用導電路  $K_y 1$ 、 $K_y 2$  に発生する交流起電力  $E_y$  は、半周期ごとに振幅が増減することになる。結局、角速度  $\omega_y$  の向き (Y 軸を中心として右まわりか左まわりか) に関する情報は、励振用導電路  $L_y 1$ 、 $L_y 2$  に供給した交流電流  $I_y$  と検出用導電路  $K_y 1$ 、 $K_y 2$  に生じた交流起電力  $E_y$  との位相関係に基づいて得ることができ、角速度  $\omega_y$  の大きさに関する情報は、交流起電力  $E_y$  の振幅の増減の度合いに基づいて得ることができる。

### 【0061】§3. 角速度検出原理の結論

上述した §2 では、特定の軸まわりの角速度を検出するための方法を各論として述べたが、ここでは本発明に係る角速度センサにおける角速度検出原理を結論として述べておく。

【0062】<<< 3. 1 磁界および導電路のバリエーション >>>これまで述べてきたように、本発明に係る角速度センサでは、重錘体 10 上に励振用導電路および検出用導電路が形成される。また、これら各導電路に磁界を作用させるための磁界発生手段が用意される。上述の例では、励振用導電路および検出用導電路は XY 平面上に形成され、磁界は Z 軸方向に平行な磁束  $\phi_z$  あるいは基本的には Z 軸方向を向きながらやや広がりをもった磁束  $\phi_{zd}$  を有していた。このように、実用上は、磁界発生手段によって発生する磁束は、励振用導電路および検出用導電路に対して直交あるいはほぼ直交するような向きに設定するのが好ましい。これは、導電路と磁束とが直交していた場合に、両者間に最も効率的な相互作用が生じるからである。もっとも、原理的には、磁束と導電路とが平行にならない限りは、ある程度の相互作用が生じるので、励振用導電路および検出用導電路のいずれに対しても磁束が平行にならないような磁界が発生できればよいことになる。別言すれば、上述の例の場合、磁力線のうちの Z 軸に平行な成分が導電路と相互作用を生じるので、少なくとも Z 軸に平行な成分を含む磁束が発生できればよいことになる。

【0063】また、上述の例では、各導電路は X 軸方向あるいは Y 軸方向に配置されていたが、原理的には、必ずしも X 軸方向あるいは Y 軸方向を正確に向いた導電路を用いる必要はない。たとえば、X 軸方向に向いた導電路の代わりに、X 軸に対して  $45^\circ$  をなす軸方向に向いた導電路を用いたとしても、原理的には動作可能である。しかしながら、磁束との相互作用は、X 軸から傾斜

した分だけ弱くなるので、効率良い検出を行う上では、X 軸方向あるいは Y 軸方向を正確に向いた導電路を用いるのが好ましい。結局、実用上の観点からは、実質的に X 軸に沿って配置された導電路あるいは実質的に Y 軸に沿って配置された導電路を形成すればよい。

【0064】一方、導電路の数に関しては、上述の例では常に同一の機能を果たす導電路を 2 組ずつ用いていたが、同一の機能を果たす導電路は必ずしも 2 組ずつ用いる必要はなく、原理的には、少なくとも 1 組を用いれば足る。たとえば、X 軸方向に電流  $I_x$  を流すための励振用導電路としては、 $L_x 1$ 、 $L_x 2$  のうちのいずれか一方のみでもよいし、Y 軸方向に電流  $I_y$  を流すための励振用導電路としては、 $L_y 1$ 、 $L_y 2$  のうちのいずれか一方のみでもよい。同様に、X 軸方向の起電力  $E_x$  を検出するための検出用導電路としては、 $K_x 1$ 、 $K_x 2$  のうちのいずれか一方のみでもよいし、Y 軸方向の起電力  $E_y$  を検出するための検出用導電路としては、 $K_y 1$ 、 $K_y 2$  のうちのいずれか一方のみでもよい。したがって、たとえば、図 7 に示す例では、重錘体 10 上に 2 組の励振用導電路  $L_x 1$ 、 $L_x 2$  と 2 組の検出用導電路  $K_y 1$ 、 $K_y 2$  が形成されているが、その代わりに、図 11 の上面図に示すように、1 組の励振用導電路  $L_x 0$  と 2 組の検出用導電路  $K_y 3$ 、 $K_y 4$  を用いるような構成にしてもかまわない。ただ、実用上は、励振用導電路も検出用導電路も 2 組用いるようにするのが好ましく、特に、重錘体 10 上で線対称となる位置に同一機能をもった一对の導電路を配置するのが好ましい。なぜなら、一对の励振用導電路を用いて重錘体 10 を運動させると、より安定した運動が可能になり、また、一对の検出用導電路を用いた検出を行うと、より信頼度の高い検出が可能になるからである。

【0065】<<< 3. 2 各軸まわりの角速度の検出 >>> §2 で述べた検出原理によれば、図 7 に示す構造をもった角速度センサを用いれば、Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  の検出が可能である。すなわち、図 7 の角速度センサでは、X 軸に沿って伸び Y 軸の負の部分に交差する第 1 の導電路  $L_x 1$  と、X 軸に沿って伸び Y 軸の正の部分に交差する第 2 の導電路  $L_x 2$  と、の一对の導電路により励起用導電路が構成され、Y 軸に沿って伸び X 軸の負の部分に交差する第 3 の導電路  $K_y 1$  と、Y 軸に沿って伸び X 軸の正の部分に交差する第 4 の導電路  $K_y 2$  と、の一对の導電路により検出用導電路が構成されている。もちろん、図 8 に示す構造をもった角速度センサによっても、同様に Z 軸まわりの角速度  $\omega_z$  の検出が可能である。なお、この図 7 あるいは図 8 に示す検出原理を用いる場合は、磁界発生手段 40 を用いて Z 軸に平行な磁束  $\phi_z$  かなる磁界を発生させれば十分であるが、磁界発生手段 50 を用いて Z 軸に非平行な磁束  $\phi_{zd}$  かなる磁界を発生させても検出に支障は生じない。

【0066】一方、図 9 に示す構造をもった角速度セン



サを用いれば、X軸まわりの角速度 $\omega x$ の検出が可能である。すなわち、図9の角速度センサでは、X軸に沿って伸びY軸の負の部分に交差する第1の導電路Lx1と、X軸に沿って伸びY軸の正の部分に交差する第2の導電路Lx2と、の一对の導電路により励起用導電路が構成され、第1の導電路Lx1の脇に沿って伸びる第3の導電路Kx1と、第2の導電路Lx2の脇に沿って伸びる第4の導電路Kx2と、の一对の導電路により検出用導電路が構成されている。ここで、検出感度を高める上では、図示の例のように、検出用導電路Kx1、Kx2が励振用導電路Lx1、Lx2よりも外側に配置されるようにするのが好ましい。これは重錘体10の外側の方が、磁束密度の不均一性がより顕著になるためである。また、図10に示す構造をもった角速度センサを用いれば、Y軸まわりの角速度 $\omega y$ の検出が可能であるが、この図10に示す構造をもった重錘体10は、図9に示す構造をもった重錘体10をXY平面で90°回転させただけのものであり、両者の実質的な構造は同じである。なお、この図9あるいは図10に示す検出原理を用いる場合は、磁界発生手段50を用いてZ軸に非平行な磁束 $\phi z$ からなる磁界を発生させる必要がある。

【0067】<<< 3.3 三軸まわりの角速度の検出 >>> 図7～図10に示す構造をもった角速度センサを用いれば、それぞれ少なくとも1軸まわりに関する角速度を検出することが可能である。しかしながら、実用上は、単一の角速度センサによって、多軸まわりの角速度を検出することができた方が便利である。ここでは、X軸まわりの角速度 $\omega x$ 、Y軸まわりの角速度 $\omega y$ 、Z軸まわりの角速度 $\omega z$ のすべてを検出可能な角速度センサの構造について述べることにする。このような角速度センサを実現するためには、重錘体10上に形成される励起用導電路を、実質的にX軸に沿って配置されたX方向励起用導電路と、実質的にY軸に沿って配置されたY方向励起用導電路とによって構成し、同じく重錘体10上に形成される検出用導電路を、実質的にX軸に沿って配置されたX方向検出用導電路と、実質的にY軸に沿って配置されたY方向検出用導電路とによって構成すればよい。また、Z軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がZ軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi z$ からなる磁界を発生する磁界発生手段50を設けるようにすればよい。

【0068】このような構造をもった角速度センサでは、X方向励起用導電路に電流Ixを供給すると、ローレンツ力によって重錘体10がY軸方向に運動Uyを生じることになり、Y方向励起用導電路に電流Iyを供給すると、ローレンツ力によって重錘体10がX軸方向に運動Uxを生じることになる。すなわち、電流の供給態様によって、重錘体10に運動Uyを発生させることもできるし、運動Uxを生じさせることもできる。したがって、各軸まわりの角速度は次のような方法で検出する

ことができる。

【0069】まず、X軸まわりの角速度 $\omega x$ を検出する場合には、図9に示す原理を用い、重錘体10に運動Uyを生じさせ、角速度 $\omega x$ と運動Uyとに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力Fzによって、重錘体10がZ軸方向に変位したことを、X方向検出用導電路に発生する起電力Exの増減に基づいて検出すればよい。また、Y軸まわりの角速度 $\omega y$ を検出する場合には、図10に示す原理を用い、重錘体10に運動Uxを生じさせ、角速度 $\omega y$ と運動Uxとに基づいて作用するZ軸方向のコリオリ力Fzによって、重錘体10がZ軸方向に変位したことを、Y方向検出用導電路に発生する起電力Eyの増減に基づいて検出すればよい。更に、Z軸まわりの角速度 $\omega z$ を検出する場合には、図7に示す原理を用い、重錘体10に運動Uyを生じさせ、角速度 $\omega z$ と運動Uyとに基づいて作用するX軸方向のコリオリ力Fxによって、重錘体10がX軸方向に変位したことを、Y方向検出用導電路に発生する起電力Eyに基づいて検出するか、あるいは、図8に示す原理を用い、重錘体10に運動Uxを生じさせ、角速度 $\omega z$ と運動Uxとに基づいて作用するY軸方向のコリオリ力Fyによって、重錘体10がY軸方向に変位したことを、X方向検出用導電路に発生する起電力Exに基づいて検出すればよい。

【0070】図12は、このような三軸まわりの角速度検出機能をもった角速度センサにおける重錘体10上の導電路の構成例を示す上面図である。この例では、X軸に沿って伸びY軸の負の部分に交差する第1の導電路Lx1と、X軸に沿って伸びY軸の正の部分に交差する第2の導電路Lx2と、の一对の導電路によりX方向励起用導電路が構成され、Y軸に沿って伸びX軸の負の部分に交差する第3の導電路Ly1と、Y軸に沿って伸びX軸の正の部分に交差する第4の導電路Ly2と、の一对の導電路によりY方向励起用導電路が構成され、X軸に沿って伸びY軸の負の部分に交差する第5の導電路Kx1と、X軸に沿って伸びY軸の正の部分に交差する第6の導電路Kx2と、の一对の導電路によりX方向検出用導電路が構成され、Y軸に沿って伸びX軸の負の部分に交差する第7の導電路Ky1と、Y軸に沿って伸びX軸の正の部分に交差する第8の導電路Ky2と、の一对の導電路によりY方向検出用導電路が構成されている。しかも、励振用導電路Lx1、Lx2、Ly1、Ly2が、原点Oを中心として重錘体10の上面に定義された第1の四角形Sq1の各辺に沿って配置され、検出用導電路Kx1、Kx2、Ky1、Ky2が、原点Oを中心として重錘体10の上面に定義され、第1の四角形Sq1よりも大きな第2の四角形Sq2の各辺に沿って配置されている。このように、検出用導電路をより大きな四角形の各辺に沿って配置したのは、重錘体10の外側の方が、磁束密度の不均一性がより顕著になるため、より感度の高い検出が可能になるからである。

【0071】<<< 3.4 角速度検出装置の構成および動作 >>>続いて、これまで述べてきた角速度センサを用いて、実際に角速度検出を行うための角速度検出装置の構成を述べておく。図13は、この角速度検出装置の構成を示すブロック図である。ここで、角速度センサ10は、これまで述べてきた角速度センサを示しており、ここでは励振用導電路101および検出用導電路102しか示されていないが、実際には、更に重錘体、装置筐体、接続部材、磁界発生手段が備わっている。電流供給回路110は、励振用導電路101に電流を供給する回路であり、ここに示す例では、所定の励振用導電路101に対して交流電流Iが供給される。一方、電圧検出回路120は、検出用導電路102に発生する起電力を検出する回路であり、ここに示す例では、所定の検出用導電路102に発生する交流電圧Eが検出される。制御装置130は、電流供給回路110に制御信号を与えると同時に、電圧検出回路120が検出した起電力に基づいて検出対象となる角速度に対応する電気信号を、角速度検出値 $\omega$ として出力する機能を有し、この角速度検出装置全体を統括制御する機能を有している。

【0072】本発明に係る角速度センサを用いて角速度検出を行う場合、原理的には、重錘体10の運動U $x$ 、U $y$ 、U $z$ は、必ずしも振動である必要はない。たとえば、重錘体10がX軸正方向に片道移動しただけでも、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用していれば、Y軸方向のコリオリ力F $y$ が作用することになるので、このコリオリ力F $y$ を検出すれば、角速度 $\omega_z$ を求めることができる。しかしながら、ある瞬時における角速度を1回だけしか測定できないセンサは、実用上は利用価値が極めて低い。実用的なセンサであるためには、継続的に測定値が得られる必要がある。したがって、実用上は、重錘体10の運動U $x$ 、U $y$ 、U $z$ は振動（後の§6で述べる二軸方向の振動を組み合わせた回転運動も含む）である必要があり、電流供給回路110の供給電流は交流電流Iである必要がある。

【0073】図14は、図12に示すような導電路配置を有する重錘体10を用いた角速度センサによって、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ 、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ 、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ のすべてを検出する手順を示す図表である。この手順を行う上で発生させる磁界は、Z軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がZ軸方向に関して不均一となる非平行磁束 $\phi$  zである。この検出手順は、動作モード1と動作モード2とを交互に実行することによって行われる。

【0074】まず、動作モード1では、X方向励振用導電路L $x$ 1、L $x$ 2に対して交流電流I $x$ を供給し、重錘体10に対してY軸方向の振動U $y$ を生じさせる（図1に示す状態になる）。この振動状態において、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用していた場合、図2に示すよう

に、Z軸方向のコリオリ力F $z$ が発生し、このコリオリ力F $z$ は図9に示す原理に基づいて、X方向検出用導電路K $x$ 1、K $x$ 2に発生する起電力E $x$ の増減として検出される。一方、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ が作用していた場合は、振動方向も同じY軸であるためコリオリ力は発生せず、検出用導電路への起電力発生に何ら影響は及ぼさない。ところが、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用していた場合、図3に示すように、X軸方向のコリオリ力F $x$ が発生し、このコリオリ力F $x$ は図7に示す原理に基づいて、Y方向検出用導電路K $y$ 1、K $y$ 2に発生する起電力E $y$ として検出される。かくして、この動作モード1では、X方向検出用導電路K $x$ 1、K $x$ 2に発生する起電力E $x$ に基づいてX軸まわりの角速度 $\omega_x$ の検出を行うことができ、Y方向検出用導電路K $y$ 1、K $y$ 2に発生する起電力E $y$ に基づいてZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ の検出を行うことができる。

【0075】一方、動作モード2では、Y方向励振用導電路L $y$ 1、L $y$ 2に対して交流電流I $y$ を供給し、重錘体10に対してX軸方向の振動U $x$ を生じさせる（図4に示す状態になる）。この振動状態において、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用していた場合は、振動方向も同じX軸であるためコリオリ力は発生せず、検出用導電路への起電力発生に何ら影響は及ぼさない。ところが、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ が作用していた場合、図5に示すように、Z軸方向のコリオリ力F $z$ が発生し、このコリオリ力F $z$ は図10に示す原理に基づいて、Y方向検出用導電路K $y$ 1、K $y$ 2に発生する起電力E $y$ の増減として検出される。一方、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用していた場合は、図6に示すように、Y軸方向のコリオリ力F $y$ が発生し、このコリオリ力F $y$ は図8に示す原理に基づいて、X方向検出用導電路K $x$ 1、K $x$ 2に発生する起電力E $x$ として検出される。かくして、この動作モード2では、X方向検出用導電路K $x$ 1、K $x$ 2に発生する起電力E $x$ に基づいてZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ の検出を行うことができ、Y方向検出用導電路K $y$ 1、K $y$ 2に発生する起電力E $y$ に基づいてY軸まわりの角速度 $\omega_y$ の検出を行うことができる。

【0076】結局、二軸まわりの角速度検出だけでなく三軸場合には、この角速度センサを動作モード1あるいは動作モード2のいずれかのモードで動作させればよい。これに対して、三軸まわりの角速度検出が必要な場合は、動作モード1と動作モード2とを交互に繰り返すようにすればよい（Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ は、二動作モードにおいて重複して検出されることになる）。

【0077】<<< 3.5 フィードバック制御による検出 >>>図9あるいは図10に示す原理説明では、重錘体10のZ軸方向の姿勢を、検出用導電路に発生する起電力の増減によって検出することができる旨の説明を行った。この原理を、もう一度簡単に繰り返しておく。たとえば、図9の例では、重錘体10はY軸方

向に振動  $U_y$  を生じているため、検出用導電路  $Kx1$ 、 $Kx2$  は磁束を切る運動を行うことになり、常に起電力  $E_x$  が生じる。ところが、重錘体 10 が  $Z$  軸正方向に変位すると、磁束密度が小さくなるために起電力  $E_x$  は小さくなり、逆に、重錘体 10 が  $Z$  軸負方向に変位すると、磁束密度が大きくなるために起電力  $E_x$  は大きくなる。したがって、起電力  $E_x$  の増減に基づいて、重錘体 10 の  $Z$  軸方向の変位、すなわち、コリオリ力  $F_z$  を検出することができる、というものである。

【0078】しかしながら、上述の原理に基づく測定は、厳密には、正確な測定にはならない。なぜなら、重錘体 10 が  $Z$  軸方向に変位すると、磁束密度が変化するため、励振用導電路  $Lx1$ 、 $Lx2$  に供給した交流電流  $I_x$  と磁界との相互作用も小さくなり、振動  $U_y$  自身にも影響が及ぶためである。別言すれば、図 13 に示す角速度検出装置において、電流供給回路 110 が励振用導電路 101 に対して、一定の交流電流  $I$  を供給し続けているにもかかわらず、振動  $U_y$  が変動を生じることになるため、制御系全体が不安定な動作に陥ることになる。

【0079】このような弊害を避けるためには、図 13 に示す角速度検出装置に代えて、図 15 に示すような角速度検出装置を用いるという。この図 15 に示す角速度検出装置では、制御装置 130 の代わりにフィードバック制御装置 135 が用いられている。このフィードバック制御装置 135 は、電圧検出回路 120 によって検出される起電力（交流電圧  $E$ ）が基準値（基準交流波形  $E_{ref}$ ）に保たれるように、磁界発生手段 103 に対して磁界の強度を制御するフィードバック信号  $F_b$  を与える機能をもっており、磁界発生手段 103 が発生する磁界の強度は、このフィードバック信号  $F_b$  によって調整されることになる。たとえば、図 9 において、重錘体 10 が  $Y$  軸方向に振動している状態において、角速度が何ら作用していなければ、重錘体 10 は  $Z$  軸方向に変位を生じないので、検出用導電路  $Kx1$ 、 $Kx2$  は常に一定の磁束密度の空間を運動することになり、常に一定の起電力  $E_x$ （正弦波グラフで示される交流起電力）が生じることになる。この一定の交流起電力波形を基準交流波形  $E_{ref}$  と定めおけば、角速度の作用によって重錘体 10 が  $Z$  軸方向に変位を生じたとしても、この変位に基づく磁束密度の変動は、フィードバック制御装置 135 によるフィードバック制御により直ちに解消することになる。

【0080】たとえば、重錘体 10 が  $Z$  軸正方向に変位し、磁束密度が小さくなったとすると、電圧検出回路 120 が検出する起電力が小さくなるため、フィードバック制御装置 135 は、磁束密度を高める指示を与えるフィードバック信号  $F_b$  を磁界発生手段 103 に対して与える制御を行うことになる。その結果、磁界発生手段 103 が発生する磁界が全体的に強められ、電圧検出回路 120 が検出する起電力は基準値に戻ることになる。結

局、重錘体 10 が  $Z$  軸方向に変位したとしても、重錘体 10 の  $Y$  軸方向の振動  $U_y$  には影響は及ばないことになり、安定した動作が可能になる。

【0081】なお、この図 15 に示す角速度検出装置では、フィードバック信号  $F_b$  は、重錘体 10 の  $Z$  軸方向の変位に応じた値を示す信号になるので、このフィードバック信号  $F_b$  をそのまま角速度検出値に対応する電気信号として出力することが可能である。

#### 【0082】§ 4. 角速度センサの具体的な構造例

ここでは、本発明に係る角速度センサの具体的な構造例をいくつか提示する。

【0083】<<< 4.1 第 1 の構造例 >>> 図 16 は、本発明の一実施形態に係る角速度センサ 200 の構造を示す断面図である。底板 210 およびキャップ 220 は、このセンサの装置筐体を構成する部材であり、他の構成要素は、この装置筐体内に収容される。この角速度センサの中核をなす部分は、板状構造体 230 である。図 17 に、この板状構造体 230 の横断面図を示す。図示のとおり、板状構造体 230 は、中央部 231 と、可撓部 232 と、周囲部 233 とによって構成されている。周囲部 233 は、中央部 231 に対して所定間隔をおいてその周囲を取り囲むように配置され、両者間は可撓部 232 によって接続されている。可撓部 232 は、いわゆるビーム弾性体であり、可撓性を有している。この可撓部 232 が弾性変形を行うため、中央部 231 は周囲部 233 に対して所定の自由度をもって運動可能になる。

【0084】ここでは説明の便宜上、図 16 に示すように、板状構造体 230 の上面中心位置（中央部の中心点）に原点  $O$  を定義し、図 16 の右方に  $Y$  軸、上方に  $Z$  軸、紙面垂直上方に  $X$  軸を定義する。板状構造体 230 の上面は、 $XY$  平面に含まれることになる。板状構造体 230 の周囲を構成する周囲部 233 は、台座 240 の上に固定されている。台座 240 は、支持部材 250 の周囲に固定され、支持部材 250 は磁石 260 の上面に固定され、磁石 260 は底板 210 の上面中央に固定されている。結局、板状構造体 230 の周囲部 233 は、間接的に底板 210 上に固定されていることになり、中央部 231 は可撓部 232 によって懸架された状態になる。すなわち、可撓部 232 は、 $XYZ$  座標系における  $X$  軸、 $Y$  軸、 $Z$  軸のすべての方向にある程度の自由度をもって運動可能である。ここで、この図 16 に示す構造体を、これまで述べてきた角速度センサ（たとえば、図 1 に示すセンサ）と対比すると、中央部 231 が重錘体 10 として機能し、可撓部 232 が接続部材 20 として機能し、周囲部 233 が装置筐体 30 として機能することがわかる。

【0085】板状構造体 230 の中央部 231 の上面には、図 12 に示すように、4 組の励振用導電路  $Lx1$ 、 $Lx2$ 、 $Ly1$ 、 $Ly2$  が第 1 の四角形  $Sq1$  の四辺に

沿った位置に形成されており、4組の検出用導電路  $Kx1$ ,  $Kx2$ ,  $Ky1$ ,  $Ky2$  が第2の四角形  $Sq2$  の四辺に沿った位置に形成されている。この例では、板状構造体  $230$  はシリコンなどの半導体基板によって構成されており、各導電路は、この半導体基板上に形成された不純物拡散層によって構成されている。あるいは、半導体基板上に絶縁層を設け、その上に配線用金属材料で導電路を形成するようにしてもよい。このように、半導体基板を用いて板状構造体  $230$  を構成すると、従来の一般的な半導体プレーンプロセスや半導体を用いたマイクロマニファクチャリングプロセスを利用することができるので、本発明に係るセンサを大量生産する上では大きなメリットが得られる。

【0086】一方、図16に示す配線ピン  $271$ ,  $272$  (図では2本のみ示されているが、実際には配線に必要な数だけ配線ピンが設けられる) は、底板  $210$  に形成された挿通孔  $211$ ,  $212$  を通ってこのセンサの内外を連結しており、その上端には、ボンディングワイヤ  $281$ ,  $282$  の一端が接続されている。ボンディングワイヤ  $281$ ,  $282$  の他端は、板状構造体  $230$  の上面に形成された所定の導電路に接続される。結局、底板  $210$  から下方に露出した配線ピン  $271$ ,  $272$  の下端部分は、各導電路に電気的に接続された端子として機能し、この端子間に所定の交流電流を供給したり、この端子間に発生する起電力を測定したりして、角速度の検出を行うことができる。

【0087】キャップ  $220$  の天井部下方に突出した隆起部分は、磁気ヘッド  $221$  を構成し、支持部材  $250$  の中央部上方に突出した隆起部分は、磁気ヘッド  $251$  を構成している。板状構造体  $230$  上の原点  $O$  に着目すると、磁気ヘッド  $221$  は  $Z$  軸の正の部分に配置されており、磁気ヘッド  $251$  は  $Z$  軸の負の部分に配置されていることになり、中央部  $231$  は、磁気ヘッド  $221$  と磁気ヘッド  $251$  との間に挟まれている。磁石  $260$  で発生した磁界は、この両磁気ヘッドの間を通る磁束を形成することになる。ただし、磁気ヘッド  $221$  の磁束発生部 (図の下面) の面積は、磁気ヘッド  $251$  の磁束発生部 (図の上面) の面積に比べて大きく設定されているため、両磁気ヘッド間に発生する磁束は、基本的にはほぼ  $Z$  軸を向いているものの、上方へゆくほど磁束が広がるようになる。図18は、このような非平行磁束が発生する様子を示す部分拡大図である。図示のとおり、磁気ヘッド  $221$  の下面の面積が、磁気ヘッド  $251$  の上面の面積よりも大きい場合、磁束  $\phi_z d$  は下方から上方へゆくにしたがって広がる。このため、磁束  $\phi_z d$  は、 $Z$  軸方向成分を有しているものの、 $Z$  軸方向に関して磁束密度が不均一な磁束になる。

【0088】もちろん、この磁束  $\phi_z d$  は、これまで述べてきた角速度センサにおける磁界発生手段  $50$  によって発生せられる磁束に相当する。上述した検出原理に

よれば、磁束  $\phi_z d$  は、 $Z$  軸方向成分を有し、 $Z$  軸方向に関して磁束密度が不均一な磁束であれば、どのような磁束でもかまわないので、図18に示す例とは逆に、磁気ヘッド  $221$  の下面の面積を、磁気ヘッド  $251$  の上面の面積よりも小さくする構成にしてもかまわない。

【0089】なお、このような一対の磁気ヘッドは、非平行磁束  $\phi_z d$  を発生させる機能と、磁束を中央部  $231$  が位置する空間に集中させる機能を有している。すなわち、図18において、中央部  $231$  の位置が破線で示されているが、非平行磁束  $\phi_z d$  は、この破線で示された中央部  $231$  の部分に集中していることがわかる。このように磁束を集中させると、中央部  $231$  の上面に形成された導電路に効率的に磁界を作用させることができるので、効率的な検出を行うことができる。

【0090】上述したように、図16に示す構造において、板状構造体  $230$  は半導体基板から構成されており、不純物拡散層 (導電路部分) 以外は絶縁体としてふるまう。また、この実施形態では、台座  $240$  も絶縁体で構成されている。これに対して、底板  $210$ 、キャップ  $220$ 、磁気ヘッド  $221$ 、支持部材  $250$ 、磁気ヘッド  $251$  は、いずれも磁性材料 (鉄、コバルト、ニッケルもしくはこれらの合金) で構成されており、図19に示すように、これらの磁性体によって磁気回路  $290$  が形成される。したがって、磁気ヘッド  $221$  と磁気ヘッド  $251$  との間の経路と、磁気回路  $290$  内に矢印で示した経路とによって、閉じた磁気経路が形成され、外部への漏れ磁束が生じない効率的な動作が可能になる。

なお、図示の例では、磁石  $260$  を永久磁石によって構成しているが、電磁石によって構成してもかまわない。

【0091】<<< 4. 第2の構造例 >>> 図20は、本発明の別な一実施形態に係る角速度センサ  $200A$  の構造を示す縦断面図である。この角速度センサ  $200A$  は、前述した角速度センサ  $200$  の一部の仕様を変更したものであり、同一符号で示した構成要素については変更はない。主たる変更事項は、図16に示す角速度センサ  $200$  において、支持部材  $250$  と磁石  $260$  との組み合わせで構成されていた部分を、単一の磁石  $265$  に置き換えた点である。磁石  $265$  の上面に形成された隆起部分が磁気ヘッド  $266$  として機能する。一方、キャップ  $225$  は、図16に示すキャップ  $220$  に比べて形状に若干の相違があり、図16に示す多面体の磁気ヘッド  $222$  の代わりには、表面が曲面部を有する磁気ヘッド  $226$  が用いられている。実用上は、この図20に示す例のように、キャップ  $225$  の天井部分に対して、下方に窪ませるようなエンボス処理を施し、磁気ヘッド  $226$  を形成すると構造が単純になる。もちろん、図示のように、丸みを帯びた磁気ヘッド  $226$  を用いた場合であっても、 $Z$  軸方向に関して磁束密度が不均一になる磁界を発生させるという目的を達成する上で支障は生じない。

【0092】<<< 4.3 第3の構造例 >>>図21は、本発明の更に別な一実施形態に係る角速度センサ200Bの構造を示す縦断面図である。この角速度センサ200Bも、前述した角速度センサ200の一部の仕様を変更したものであり、同一符号で示した構成要素については変更はない。主たる変更事項は、図16に示す角速度センサ200では、支持部材250の下方に磁石260を配置していたのに対し、図21に示す角速度センサ200Bでは、板状構造体230の上に磁石267が配置されている点である。支持部材250上面の隆起部分が一方の磁気ヘッド251として機能する点には代わりないが、もう一方の磁気ヘッド268は、磁石267自身の下部の隆起部分によって構成される。

【0093】このような磁石の配置転換に基づいて、底板215およびキャップ228の形状が若干変更されており、また、挿通孔216、217を通して設けられる配線ピン273、274も若干短くなっている。

【0094】<<< 4.4 第4の構造例 >>>図22は、図21に示す角速度センサ200Bに、若干の変更を施した角速度センサ200Cの構造を示す縦断面図である。両者の相違点は、磁石の形状のみである。すなわち、図21に示す角速度センサ200Bでは、磁石267の下部隆起部分が磁気ヘッド268として機能していたが、図22に示す角速度センサ200Cでは、断面が台形状の磁石269が用いられており、磁石269全体が磁気ヘッドを兼ねた構造となっている。

【0095】<<< 4.5 第5の構造例 >>>図23は、本発明の更に異なる一実施形態に係る角速度センサ300の構造を示す縦断面図である。底板310およびキャップ320は、このセンサの装置筐体構成する部材であり、他の構成要素は、この装置筐体内に収容される。この角速度センサの中板をなす部分は、板状構造体330であるが、この板状構造体330はこれまで述べてきた板状構造体230とはほぼ同様の構造を有しており、中央部331と、可撓部332と、周囲部333とによって構成されている。中央部331の上面には、図12に示すように、4組の励振用導電路Lx1、Lx2、Ly1、Ly2が第1の四角形Sq1の四辺に沿った位置に形成されており、4組の検出用導電路Kx1、Kx2、Ky1、Ky2が第2の四角形Sq2の四辺に沿った位置に形成されている。

【0096】板状構造体330の周囲を構成する周囲部333は、台座340の上に固定されている。台座340は、支持部材350の周囲に固定され、支持部材350は底板310の上面に固定されている。結局、板状構造体330の周囲部333は、間接的に底板310上に固定されていることになり、中央部331は可撓部332によって懸架された状態になる。この実施形態の特徴は、磁石360を板状構造体330の左側に配した点にある。磁石360は支持部材350の左端の上面に固定

されており、この磁石360の上面には、片持梁部材370が固定されている。片持梁部材370は、ちょうど底のように、板状構造体330の上に突き出した構造をなす。ここで、支持部材350の上面に形成された隆起部分が一方の磁気ヘッド351を形成し、片持梁部材370の下面に形成された隆起部分がもう一方の磁気ヘッド371を形成する。支持部材350、磁気ヘッド351、片持梁部材370、磁気ヘッド371は、いずれも磁性材料で構成されており、これらの磁性体によって磁気回路が形成されるので、磁石360が脇に配置されていたとしても、磁気ヘッド351と磁気ヘッド371との間には、必要な磁束が得られる。ここでも、磁気ヘッド351の上面の面積と、磁気ヘッド371の上面の面積とは異なるため、得られる磁束は非平行磁束 $\phi_z d$ となる。もちろん、磁石360としては、電磁石を用いてもよい。

【0097】配線ピン381、382は、底板310を通してこのセンサの内外を連結しており、その上端には、ボンディングワイヤ391、392の一端が接続されている。ボンディングワイヤ391、392の他端は、板状構造体330の上面に形成された所定の導電路に接続される。

【0098】<<< 4.6 板状構造体の構造例 >>>これまで述べてきた種々の構造例では、いずれも図17に示す板状構造体230を用いているが、板状構造体の構造はこの図17に示す例に限定されるものではない。以下にいくつかのバリエーションを示しておく。

【0099】図24に横断面図を示す板状構造体230Aは、中央部231A、可撓部232A、周囲部233Aから構成されており、基本的には図17に示す板状構造体230と同様の形態をなしている。ただし、可撓部232Aが占める空間を小さく抑え、中央部231Aにより大きな体積を確保できるようにしている。中央部231Aの体積を大きく確保できると、重錘体として機能する部分の質量を増加させることができるため、より感度の高い検出結果を得ることが可能になる。

【0100】図25に横断面図を示す板状構造体230Bは、中央部231B、可撓部232B、周囲部233Bから構成されており、やはり基本的には図17に示す板状構造体230と同様の形態をなしている。ただし、可撓部232Bの形状をより単純化したため、製造プロセスはより簡素化される。もっとも、図17に示す可撓部232と図24に示す可撓部232Aが複数の屈曲部を有した構造であるのに対し、図25に示す可撓部232Bは1か所の屈曲部しか有していないため、可撓性は低下せざるを得ない。

【0101】一般に、角速度センサには種々の用途が存し、重錘体に対して作用するコリオリ力の大きさも用途によって様々であり、必要とされる検出感度も用途によって様々である。したがって、実用上は、可撓部によ

10

20

30

40

50

求される可撓性、強度、サイズ、コストなどを考慮して、用途に最適な形態の板状構造体を用いるのが好ましい。

【0102】また、ここでは1枚の板状構造体によって、重錘体（中央部）、接続部材（可撓部）、装置筐体（周囲部）を形成する例を示したが、本発明に係るセンサを実現する上では、必ずしも1枚の板状構造体によってこれらのものを形成する必要はない。前述した検出原理によれば、重錘体を装置筐体に対して所定の運動自由度を維持させた状態で接続部材によって接続した構造が実現できればよいので、重錘体、接続部材、装置筐体をそれぞれ別個の部品によって構成してもかまわない。

#### 【0103】§5. 基板面に平行な磁界を用いる実施形態

これまで§1、§2で述べてきた角速度センサでは、重錘体10の基板面（XY平面）に対してほぼ垂直な方向（Z軸に沿った方向）を向いた磁束を発生させ、所定軸まわりの角速度検出を行っていた。ここでは、重錘体10の基板面（XY平面）に対してほぼ平行な方向（たとえば、X軸に沿った方向）を向いた磁束を発生させて角速度検出を行う実施形態を述べることにする。

【0104】<<< 5.1 角速度検出の原理 >>> いま、図26に示すような構造をもった角速度センサを用意する。この角速度センサの構造は、図10に示した角速度センサの構造とほぼ同じである。すなわち、上面がXY平面に含まれる位置に基板状の重錘体10が配置され、この重錘体10は接続部材20によって所定の自由度を確保した状態で装置筐体30に接続されている。重錘体10の上面には、励起用導電路Ly1、Ly2および検出用導電路Ky1、Ky2が実質的にY軸に沿って配置されている。より具体的に、励振用導電路Ly1は、Y軸に沿って伸びX軸の負の部分に交差する位置に配置され、励振用導電路Ly2は、Y軸に沿って伸びX軸の正の部分に交差する位置に配置され、検出用導電路Ky1は、励振用導電路Ly1の脇に沿って伸びるように配置され、検出用導電路Ky2は、励振用導電路Ly2の脇に沿って伸びるように配置されている。

【0105】ただ、この図26に示す角速度センサでは、図10に示す磁界発生手段50の代わりに、磁界発生手段60が用いられている。この磁界発生手段60は、X軸に平行な成分を有し、かつ磁束密度がX軸方向に関して不均一となるような磁束 $\phi x d$ からなる磁界を発生する機能を有する。別言すれば、ほぼX軸に平行な方向を向きながら、X軸の負方向にゆくにしたがって徐々に広がるような磁束 $\phi x d$ が生成されることになる。したがって、磁束の向きは、重錘体10の上面に対してほぼ水平になるが、たとえば、X軸上の任意の点を $x1$ 、 $x2$ としたときに、 $X=x1$ で示される平面上の磁束密度と、 $X=x2$ で示される平面上の磁束密度とは異なることになる。このような構成をもった角速度センサ

において、励起用導電路Ly1、Ly2に電流Iyを供給した場合を考える。この場合、磁束 $\phi x d$ のX軸方向成分に対して電流Iyは直交するため、ローレンツ力によって重錘体10はZ軸方向に運動Uzを生じることになる。

【0106】そこで、このように、重錘体10にZ軸方向の運動Uzを生じさせた状態において、図27に示すように、作用したY軸まわりの角速度 $\omega y$ を求めるために、コリオリ力Fxに基づくX軸方向の変位を検出する方法を述べる。磁束 $\phi x d$ はほぼX軸方向を向いているため、重錘体10のX軸方向の変位そのものによっては、検出用導電路Ky1、Ky2に有意な起電力は生じない。しかしながら、重錘体10はZ軸方向の運動Uzを生じているため、この運動Uzに基づいて検出用導電路Ky1、Ky2に起電力Eyが生じることになる。これは、重錘体10がZ軸方向へ運動すると、Y軸方向に配置された検出用導電路Ky1、Ky2が、ほぼX軸方向を向いた磁束 $\phi x d$ を横切ることとなるからである（フレミングの右手の法則）。しかも、検出用導電路Ky1、Ky2に生じる起電力Eyは、重錘体10のX軸上の位置に応じて変化する。なぜなら、磁束 $\phi x d$ の磁束密度は、X軸方向に関して不均一であるためである。

【0107】たとえば、図27に示す磁束 $\phi x d$ は、X軸の負方向へゆくにしたがって広がってゆくため、X軸の負方向ほど磁束密度は小さくなり、X軸の正方向ほど磁束密度は大きくなる。したがって、検出用導電路Ky1、Ky2に生じる起電力Eyは、重錘体10がX軸の負方向に変位した場合に小さくなり、逆に、重錘体10がX軸の正方向に変位した場合に大きくなる。このように、検出用導電路Ky1、Ky2に生じる起電力Eyの増減は、検出用導電路Ky1、Ky2が切る磁束 $\phi x d$ の密度を示すパラメータとなる。結局、起電力Eyの増減を求めることによって重錘体10のX軸方向の変位を検出することができ、X軸方向に作用するコリオリ力Fxを検出することができ、Y軸まわりの角速度 $\omega y$ を検出することができる。

【0108】電流Iyとして交流電流を用いれば、重錘体10の運動UzはZ軸方向に沿った振動運動になるので、角速度 $\omega y$ が一定であったとしても、コリオリ力Fxは正弦波のグラフで示される周期関数となり、重錘体10はZ軸方向に振動運動Uzを行いながら、コリオリ力Fxに基づいてX軸方向にも振動運動を行うことになる。したがって、検出用導電路Ky1、Ky2に発生する交流起電力Eyは、半周期ごとに振幅が増減することになる。結局、角速度 $\omega y$ の向き（Y軸を中心として右まわりか左まわりか）に関する情報は、励振用導電路Ly1、Ly2に供給した交流電流Iyと、検出用導電路Ky1、Ky2に生じた交流起電力Eyとの位相関係に基づいて得ることができ、角速度 $\omega y$ の大きさに関する情報は、交流起電力Eyの振幅の増減の度合いに基づいて

得ることができる。

【0109】なお、実際には、重錘体10がX軸方向に変位すると、磁束密度の変化によって、振動Uz自身にも影響が生じることになり、動作が不安定になる(§3、5参照)。したがって、実用上は、図15に示すようなフィードバック制御機能を有する角速度検出装置を用い、検出用導電路Ky1、Ky2に発生する交流起電力Eyが基準値(基準交流波形Eref)に維持されるように、磁界発生手段60の発生する磁界強度を調整するようなフィードバック制御を行い、フィードバック信号Fbに対応する値を角速度 $\omega_y$ の検出値として出力するのが好ましい。

【0110】残念ながら、この図26に示すタイプの角速度センサでは、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ しか検出することはできない。磁束がほぼX軸方向を向いているため、重錘体10上にX軸に沿った導電路を形成することは無意味である(磁界との相互作用が生じないため)。したがって、重錘体10に対してはZ軸方向の運動Uzしか生じさせることはできない。よって、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用してもコリオリ力は発生せず、角速度 $\omega_z$ の検出を行うことはできない。また、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用した場合は、Y軸方向にコリオリ力Fyが発生するものの、重錘体10のY軸方向の変位を効率良く検出する手段をもたないため、結局、角速度 $\omega_x$ を有効に検出することもできない。このように、ここで述べたタイプの角速度センサは、1軸まわりの角速度センサとしての利用しか期待できないが、重錘体10の基板面に平行な方向に磁界を発生させればよいという特徴を有するため、より扁平な角速度センサが実現できるという構造的なメリットは得られる。

【0111】<<< 5.2 具体的な構造例 >>>  
図28は、上述した偏平タイプの一実施形態に係る角速度センサ400の構造を示す縦断面図である。底板410およびキャップ420は、このセンサの装置筐体構成する部材であり、他の構成要素は、この装置筐体内に収容される。この角速度センサの中核をなす部分は、中心部材431、可換部材432、周囲部材433である。周囲部材433は、中心部材431に対して所定間隔をおいてその周囲を取り囲むように配置され、両者間は可換部材432によって接続されている。可換部材432は、この例では、ばねによって構成されているが、中心部材431を周囲部材433に対して所定の自由度をもって運動可能となるように接続する機能を有していれば、どのような部材で構成してもかまわない。もちろん、中心部材431、可換部材432、周囲部材433を、図17に示すような板状構造体230を用いて構成することもできる。

【0112】ここでは説明の便宜上、図28に示すように、中心部材431の上面中心位置に原点Oを定義し、図28の左方にX軸、上方にZ軸、紙面垂直上方にY軸

を定義する。中心部材431の上面は、XY平面に含まれることになる。周囲部材433は、台座440の上に固定されているが、台座440の上面と中心部材431の下面との間には、所定の間隙が確保されており、中心部材431はZ軸方向に所定の自由度をもって運動可能である。台座440は、底板410の上面に固定されている。結局、周囲部材433は、間接的に底板410上に固定されていることになり、中心部材431は可換部材432によって懸架された状態になる。中心部材431は、XYZ座標系におけるX軸、Y軸、Z軸のすべての方向にある程度の自由度をもって運動可能である。ここで、この図28に示す構造体を、図26に示す角速度センサと対比すると、中心部材431が重錘体10として機能し、可換部材432が接続部材20として機能し、周囲部材433が装置筐体30として機能することがわかる。

【0113】キャップ420の左側壁の内側には、磁石450が配置され、その右側には磁気ヘッド460が形成されている。一方、キャップ420の右側壁の内側に突出した隆起部分は、もう一方の磁気ヘッド421を構成している。中心部材431上の原点Oに着目すると、磁気ヘッド460はX軸の正の部分に配置されており、磁気ヘッド421はX軸の負の部分に配置されていることになり、中心部材431は、磁気ヘッド421と磁気ヘッド460との間に挟まれている。磁石450で発生した磁界は、この両磁気ヘッドの間を通る磁束を形成することになる。ただし、磁気ヘッド421の磁束発生部(図の左側面)の面積は、磁気ヘッド460の磁束発生部(図の右側面)の面積に比べて大きく設定されているため、両磁気ヘッド間に発生する磁束は、基本的にはほぼX軸を向いているものの、右方へゆくほど磁束が広がるようになる。このため、発生する磁束 $\phi_x$ は、X軸方向成分を有しているものの、X軸方向に関して磁束密度が不均一な磁束になる。

【0114】もちろん、この磁束 $\phi_x$ は、図26に示す角速度センサにおける磁界発生手段60によって発生させられる磁束に相当する。上述した検出原理によれば、磁束 $\phi_x$ は、X軸方向成分を有し、X軸方向に関して磁束密度が不均一な磁束であれば、どのような磁束でもかまわないので、図28に示す例とは逆に、磁気ヘッド421の左側面の面積を、磁気ヘッド460の右側面の面積よりも小さくする構成にしてもかまわない。図28に示す例では、中心部材431、周囲部材433、台座440は絶縁性材料から構成されているが、底板410、キャップ420、磁気ヘッド421、磁気ヘッド460は、いずれも磁性材料(鉄、コバルト、ニッケルもしくはこれらの合金)で構成されており、これらの磁性体によって、外部への漏れ磁束のない閉じた磁気回路が形成される。なお、図示の例では、磁石450を永久磁石によって構成しているが、電磁石によって構成して

もかまわない。

【0115】中心部材431は基板状の構造体であり、その上面には、図26に示すように、励振用導電路 $L_y$ 1、 $L_y$ 2および検出用導電路 $K_y$ 1、 $K_y$ 2が形成されている。この例では、中心部材431はシリコンなどの半導体基板によって構成されており、各導電路は、この半導体基板上に形成された不純物拡散層やアルミニウム配線層によって構成されている。図28に示す配線ピン471、472（図では2本のみ示されているが、実際には配線に必要な数だけ配線ピンが設けられる）は、底板410を通してこのセンサの内外を連結しており、その上端には、ボンディングワイヤ481、482の一端が接続されている。ボンディングワイヤ481、482の他端は、直接的には、周囲部材433に接続されているが、周囲部材433上には、中心部材431上の各導電路に電氣的に接続された配線が形成されており、ボンディングワイヤ481、482は、これらの配線を介して各導電路に電氣的に接続されることになる。

【0116】<<< 5.3 別な具体的構造例 >>> 図29は、図28に示す角速度センサ400に対する変形例に相当する角速度センサ500の構造を示す横断面図である。パッケージ510は、このセンサの構成要素すべてを収容する容器であり、他の構成要素は、すべてこのパッケージ510内に組み込まれている。この角速度センサの中心をなす部分は、中心部材531、可換部材532、周囲部材533である。周囲部材533は、中心部材531に対して所定間隔をおいてその周囲を取り囲むように配置され、両者間は可換部材532によって接続されている。可換部材532は、この例では、ばねによって構成されているが、中心部材531を周囲部材533に対して所定の自由度をもって運動可能となるように接続する機能を有していれば、どのような部材で構成してもかまわない。もちろん、中心部材531、可換部材532、周囲部材533を、図17に示すような板状構造体230を用いて構成することもできる。

【0117】ここでは説明の便宜上、図29に示すように、中心部材531の上面に原点を定義して、左方にX軸、下方にY軸、紙面垂直上方にZ軸を定義する。中心部材531の上面は、XY平面に含まれることになる。周囲部材533は、パッケージ510に対して固定されており、中心部材531は可換部材532によって懸架された状態になる。中心部材531は、XYZ座標系におけるX軸、Y軸、Z軸のすべての方向にある程度の自由度をもって運動可能である。ここで、この図29に示す構造体を、図26に示す角速度センサと対比すると、中心部材531が重錘体10として機能し、可換部材532が接続部材20として機能し、周囲部材533が装置筐体30として機能することがわかる。

【0118】磁性材料から構成される磁気回路構成部5

40、550は、磁石560の両側に接続されており、その先端部は、それぞれ磁気ヘッド541、551を形成している。磁気ヘッド541、551は、中心部材531を両側から挟む位置に配置されており、磁石560で発生した磁界は、この両磁気ヘッドの間を通る磁束を形成することになる。ただし、磁気ヘッド541の磁束発生部（図の右側面）の面積は、磁気ヘッド551の磁束発生部（図の左側面）の面積に比べて小さく設定されているため、両磁気ヘッド間に発生する磁束は、基本的にはほぼX軸を向いているものの、右方へゆくほど磁束が広がるようになる。このため、発生する磁束 $\phi \times d$ は、X軸方向成分を有しているものの、X軸方向に関して磁束密度が不均一な磁束 $\phi \times d$ となる。この例においても、磁気回路構成部540、550、磁石560によって、外部への漏れ磁束のない閉じた磁気回路が形成されている。

#### 【0119】§6. いくつかの変形例

ここでは、これまで述べてきた角速度センサについて、いくつかの変形例を述べることにする。

【0120】<<< 6.1 重錘体10に回転運動をさせる変形例 >>> 三軸まわりすべての角速度を検出するための方法として、§3.4では、図14の図表に示すように、動作モード1と動作モード2とを交互に行う方法を説明した。すなわち、動作モード1では、重錘体10をY軸方向に振動させた状態とし、X軸まわりの角速度 $\omega \times$ とZ軸まわりの角速度 $\omega z$ とを検出し、続く動作モード2では、重錘体10をX軸方向に振動させた状態とし、Y軸まわりの角速度 $\omega y$ とZ軸まわりの角速度 $\omega z$ とを検出することになる。しかしながら、この方法によって動作モードの切り替えを行うためには、Y軸方向の振動とX軸方向の振動とを交互に切り替える必要があるため、振動方向が重錘体10の慣性力に抗して完全に切り替わるまで、ある程度の準備時間が必要になる。このような弊害を避けるためには、重錘体10を回転運動させればよい。

【0121】たとえば、上面がXY平面に含まれるような位置に基板状の重錘体10が配され、図12に示すように、この重錘体10の上面に4組の励振用導電路 $L_x$ 1、 $L_x$ 2、 $L_y$ 1、 $L_y$ 2と4組の検出用導電路 $K_x$ 1、 $K_x$ 2、 $K_y$ 1、 $K_y$ 2を形成した角速度センサを用意する。そして、励振用導電路 $L_x$ 1、 $L_x$ 2、 $L_y$ 1、 $L_y$ 2のそれぞれに、図30のグラフに示すような波形をもった交流電流 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ を供給する。X方向励起用導電路 $L_x$ 1、 $L_x$ 2に供給される第1の交流電流 $I_1$ 、 $I_2$ は、時刻 $t$ において正の最大値をとり、時刻 $t_2$ において0となるような位相をもった交流電流であるのに対し、Y方向励起用導電路 $L_y$ 1、 $L_y$ 2に供給される第2の交流電流 $I_3$ 、 $I_4$ は、時刻 $t_0$ において0となり、時刻 $t_2$ において正の最大値をとるような位相をもった交流電流であり、両者は $\pi$



／2だけ位相がずれていることになる。

【0122】いま、X軸あるいはY軸の正方向に流れる電流値を正とし、負方向に流れる電流値を負とすれば、各励振用導電路Lx1、Lx2、Ly1、Ly2には、それぞれ図31の平面図（検出用導電路は図示省略）に示されるような方向に電流I1～I4が供給されることになる。ここで、図30の時間軸上の各時刻0～t7における各電流I1～I4の方向に着目すると、図32に示すダイアグラムが得られる。たとえば、図32において、時刻t0の状態では、電流I1、I2は正の最大値をとるため図の上から下へと流れる電流になるが、電流I3、I4は0になるため、左右方向へは電流は流れない。一方、時刻t2の状態では、電流I3、I4は正の最大値をとるため図の左から右へと流れる電流になるが、電流I1、I2は0になるため、上下方向へは電流は流れない。更に、時刻t4の状態では、電流I1、I2は負の最大値をとるため図の下から上へと流れる電流になるが、電流I3、I4は0になるため、左右方向へは電流は流れない。そして、時刻t6の状態では、電流I3、I4は負の最大値をとるため図の右から左へと流れる電流になるが、電流I1、I2は0になるため、上下方向へは電流は流れない。時刻t1、t3、t5、t7の状態は、上記4つの各状態の遷移途中の状態となり、上下方向の電流と左右方向の電流との双方が流れることになる（電流値は上記4つの状態よりもそれぞれ小さくなる）。

【0123】さて、ここで、磁界発生手段50によって、ほぼZ軸方向を向いた磁束 $\phi_z$ が生成されているとすれば、励振用導電路に供給された電流と磁束 $\phi_z$ との相互作用に基づくローレンツ力が発生する。このローレンツ力の方向を、図32では白抜き矢印で示してある。たとえば、時刻t0の状態では左向きローレンツ力R(t0)が生じ、時刻t2の状態では下向きのローレンツ力R(t2)が生じ、時刻t3の状態では右向きのローレンツ力R(t4)が生じ、時刻t6の状態では上向きのローレンツ力R(t6)が生じる。時刻t1、t3、t5、t7の状態では、それぞれ図示のとおり斜め方向のローレンツ力R(t1)、R(t3)、R(t5)、R(t7)が生じる。このように、ローレンツ力Rの方向は徐々にその向きを変えてゆくことになるので、結局、時刻t0～時刻t8に至る一周期において、重錘体10はXY平面上で回転運動を行うことになる。

【0124】図33は、この重錘体10の回転運動を示す平面図であり、円軌道上の黒丸は、各時刻における重錘体10の質点位置を示している。図示のとおり、時刻t0～時刻t8に至る一周期において、重錘体10の質点は円軌道に沿って一回転することになる。このような円運動は、実は、X軸方向の振動UxとY軸方向の振動Uyとを合成することにより得られる運動であり、この

円運動には、X軸方向の振動Uxの成分とY軸方向の振動Uyの成分との双方が含まれていることになる。たとえば、図33において、時刻t0の瞬時の運動（Y軸の負の部分の横切る瞬間の運動）に着目すれば、質点はX軸正方向に接線速度Vxで運動している。同様に、時刻t2の瞬時の運動（X軸の正の部分の横切る瞬間の運動）に着目すれば、質点はY軸正方向に接線速度Vyで運動しており、時刻t4の瞬時の運動（Y軸の正の部分の横切る瞬間の運動）に着目すれば、質点はX軸負方向に接線速度-Vxで運動しており、時刻t6の瞬時の運動（X軸の負の部分の横切る瞬間の運動）に着目すれば、質点はY軸負方向に接線速度-Vyで運動している。

【0125】結局、時刻t0、t4の瞬時の運動は、重錘体10にX軸方向の振動Uxを与えたときの運動と等価であり、図14に示す図表における動作モード2に相当する運動になる。同様に、時刻t2、t6の瞬時の運動は、重錘体10にY軸方向の振動Uyを与えたときの運動と等価であり、図14に示す図表における動作モード1に相当する運動になる。結局、重錘体10を回転運動させた場合、図14に示す図表の代わりに、図34に示すような図表を適用することが可能になる。すなわち、時刻t0、t4においては、検出用導電路Ky1、Ky2に発生する起電力Eyに基づいて角速度 $\omega_y$ を検出することができ、検出用導電路Kx1、Kx2に発生する起電力Exに基づいて角速度 $\omega_x$ を検出することができる。また、時刻t2、t6においては、検出用導電路Kx1、Kx2に発生する起電力Exに基づいて角速度 $\omega_x$ を検出することができ、検出用導電路Ky1、Ky2に発生する起電力Eyに基づいて角速度 $\omega_y$ を検出することができる。

【0126】このように、重錘体10に回転運動を生じさせた状態での検出を行えば、動作モードを切り替える必要がなく、三軸まわりの角速度 $\omega_x$ 、 $\omega_y$ 、 $\omega_z$ の値を継続的に検出することが可能になる。なお、実用上は、ここに述べる方法においても、§3.5で述べたフィードバック制御装置を利用したフィードバック制御を行い、磁界発生手段50の発生する磁界の強度を調整するようにするのが好ましい。

【0127】<<< 6.2 容量素子を併用する変形例 >>>図35は、重錘体の変位検出に容量素子を併用するタイプの実施形態に係る角速度センサ600の構造を示す縦断面図である。パッケージ610は、このセンサのすべての構成要素を収容する容器であり、その天井部下面には、磁石620が設けられている。この角速度センサの中核をなす部分は、中心部材631、可撓部材632、周囲部材633である。周囲部材633は、中心部材631に対して所定間隔をおいてその周囲を取り囲むように配置され、両者間には可撓部材632によって接続されている。可撓部材632は、この例では、ば

ねによって構成されているが、中心部材631を周囲部材633に対して所定の自由度をもって運動可能となるように接続する機能を有していれば、どのような部材で構成してもかまわない。もちろん、中心部材631、可換部材632、周囲部材633を、図17に示すような板状構造体230を用いて構成することもできる。

【0128】ここでは説明の便宜上、図35に示すように、中心部材631の上面に原点Oを定義して、右方にY軸、上方にZ軸、紙面垂直上方にX軸を定義する。中心部材631の上面は、XY平面に含まれることになる。周囲部材633は、パッケージ600に対して固定されており、中心部材631は可換部材632によって懸架された状態になる。中心部材631とパッケージ610との間には所定の間隔が確保されており、中心部材631は、XYZ座標系におけるX軸、Y軸、Z軸のすべての方向にある程度の自由度をもって運動可能であり、その上面には図12に示すような各導回路が形成されている。ここで、この図35に示す構造体を、これまで述べてきた角速度センサと対比すると、中心部材631が重錘体10として機能し、可換部材632が接続部材20として機能し、周囲部材633が装置筐体30として機能することがわかる。

【0129】この角速度センサの特徴は、中心部材631の下面に変位電極641が形成され、パッケージ610の底面に固定電極642が形成されている点である。変位電極641と固定電極642とは、互いに対向する位置に形成されており、両電極によって容量素子Cが形成されている。この容量素子Cは、中心部材631（重錘体）のZ軸方向の変位を検出するために利用される。たとえば、図35において、中心部材631がZ軸正方向に変位すると、変位電極641と固定電極642との距離が大きくなり、容量素子Cの静電容量値は減少する。逆に、中心部材631がZ軸負方向に変位すると、変位電極641と固定電極642との距離が小さくなり、容量素子Cの静電容量値は増加する。したがって、容量素子Cの静電容量値の増減を測定できれば、中心部材631のZ軸方向の変位検出が可能になる。なお、パッケージ610自体を導電性材料で構成すれば、このパッケージ610の底面の一部を固定電極として利用することができるため、固定電極642を別途形成する必要はなくなる。

【0130】このように、重錘体のZ軸方向の変位検出に、容量素子Cを設けておくようにすれば、これまで述べてきた角速度センサにおいて、重錘体のZ軸方向の変位の検出に寄与する検出用導回路は省略することができる。また、図10および図11に示す検出原理を用いる必要がなくなるため、磁界発生手段としても、Z軸に平行な磁束 $\phi_z$ を生成できれば足りる。

【0131】図36に示す図表は、図35に示すタイプの角速度センサを用いて、重錘体（中心部材631）を

XY平面上で回転運動させ、三軸まわりの角速度をすべて検出するための手順を示している。図34に示す図表との相違は、コリオリ力 $F_z$ を検出するために容量素子Cを用いている点であり、角速度 $\omega_x$ および $\omega_y$ は、いずれも容量素子Cを用いて検出されることになる。また、角速度 $\omega_z$ は、X方向検出用導回路 $K_{x1}$ 、 $K_{x2}$ によっても、Y方向検出用導回路 $K_{y1}$ 、 $K_{y2}$ によっても検出することができるので、いずれか一方は設けなくてもかまわない。

#### 10 【0132】§7. 複数の重錘体を設ける実施形態

これまで述べてきた実施形態は、いずれも単一の重錘体を装置筐体内に設けたものであるが、ここでは、装置筐体内に複数の重錘体を設けた実施形態を述べる。この場合、各重錘体と装置筐体との間および複数の重錘体相互間を接続部材によって接続することにより、各重錘体がそれぞれ装置筐体に対して所定の自由度をもって運動可能となるように構成し、これら複数の重錘体を運動させた状態において、所定の重錘体に作用するコリオリ力を検出し、その検出結果に基づいて角速度の検出を行うようにすればよい。一般に、単一の重錘体を装置筐体内で振動させると、振動成分が装置筐体を伝わって外部に漏れる可能性がある。重錘体の振動成分が外部に漏れると、たとえば、装置筐体に手を触れただけで、重錘体の振動に影響が及ぶことになり、検出精度を低下させるという問題がある。ここで述べる実施形態のように、装置筐体内に複数の重錘体を設け、これら重錘体（同じ質量のものが好ましい）を、互いに幾何学的に対称となるような態様で振動させるようにすると、外部への振動漏れを防ぐ上で効果的である。また、複数の重錘体から得られた検出結果に基づいて、最終的な検出値を得ることができるので、差動検出動作などを行うことが可能になり、温度変動や加速度の作用といった外乱による影響を相殺した正確な検出値を得ることができるというメリットも得られる。以下、具体的な構成例をいくつか開示しておく。なお、図37以降に示す構造概念図では、装置筐体、重錘体、接続部材のみが示されているが、実際には、各重錘体上には必要な導回路が形成されており、また、所定の方向に磁界を発生させる磁界発生手段が備わっている。

【0133】<<< 7.1 第1の構成例 >>>図37は、第1の構成例に係る角速度センサ700の構造概念図である。装置筐体705には、配置軸Aに沿って、所定間隔をあけて第1の重錘体710および第2の重錘体720が配置されている。これら各重錘体710、720は、それぞれ接続部材701を介して装置筐体705に接続されている。また、第1の重錘体710と第2の重錘体720との相互間も接続部材701を介して接続されている。

【0134】このような構成の角速度センサ700を用いて検出を行うには、第1の重錘体710と第2の重錘

体 720 とを配置軸 A に沿って互いに逆方向に振動させることができるように、所定の励振用導電路に所定の交流電流を供給すればよい。配置軸 A に沿って、一方の重錘体が右方向へ運動しているときには、必ずもう一方の重錘体が左方向へ運動することになり、装置筐体 705 に対しては左右対称の力が加わることになり、外部への振動漏れを抑制することができる。また、重錘体の運動方向が逆向きになるため、同じ角速度に起因して、一方の重錘体に作用するコリオリ力と他方の重錘体に作用するコリオリ力とは逆向きになるため、一方の重錘体から得られる検出信号と他方の重錘体から得られる検出信号とは、符号が逆になる。そこで、これら両検出信号の差に基づいて最終的な検出値を出力する差動検出が可能になり、温度変動や加速度の作用といった外乱による影響を相殺した正確な検出値を得ることができる。

【0135】<<< 7.2 第2の構成例 >>>図 38 は、第2の構成例に係る角速度センサ 700A の構造概念図である。装置筐体 755 には、配置軸 A に沿って、所定間隔をあけて第1の重錘体 710、第2の重錘体 720、第3の重錘体 730 が配置されている。これら各重錘体 710、720、730 は、それぞれ接続部材 701 を介して装置筐体 755 に接続されている。また、第1の重錘体 710 と第2の重錘体 720 との相互間も接続部材 701 を介して接続されており、第2の重錘体 720 と第3の重錘体 730 との相互間も接続部材 701 を介して接続されている。しかも、この角速度センサでは、励振用導電路は、第1の重錘体 710 および第3の重錘体 730 にのみ形成されており、検出用導電路は、第2の重錘体 720 にのみ形成されている。したがって、電流供給による励振の対象となるのは、第1の重錘体 710 および第3の重錘体 730 のみであり、起電力に基づく検出の対象となるのは、第2の重錘体 720 のみである。もちろん、第1の重錘体 710 および第3の重錘体 730 に検出用導電路を、第2の重錘体 720 に励振用導電路をそれぞれ設けてもよい。

【0136】このような構成の角速度センサ 700A を用いて検出を行うには、第1の重錘体 710 と第3の重錘体 730 とを配置軸 A に沿って同方向に振動させることができるように、各重錘体の励振用導電路に所定の交流電流を供給すればよい。このように、第1の重錘体 710 と第3の重錘体 730 とを振動させると、これらに挟まれた第2の重錘体 720 には、逆方向の振動が生じる。そこで、この第2の重錘体 720 上に形成された検出用導電路に発生する起電力に基づいて、角速度の検出が行われる。このように、励振用の重錘体と検出用の重錘体とをそれぞれ別体にするように、設計上の自由度が増すというメリットが得られる。

【0137】<<< 7.3 第3の構成例 >>>図 39 は、第3の構成例に係る角速度センサ 800 の構造概念図である。装置筐体 805 内には、4 組の重錘体 8

10、820、830、840 が収容されている。ここでは、図示のように、所定間隔 d をおいて互いに平行な第1の軸 A1 および第2の軸 A2 が定義され、同じく所定間隔 d をおいて互いに平行な第3の軸 A3 および第4の軸 A4 とが定義されている。第1の軸 A1 および第2の軸 A2 は図の水平方向に伸びた軸であり、第3の軸 A3 および第4の軸 A4 は図の垂直方向に伸びた軸であり、両者は互いに直交する。そして、第1の軸 A1 と第3の軸 A3 との交点に第1の重錘体 810 が配置され、第1の軸 A1 と第4の軸 A4 との交点に第2の重錘体 820 が配置され、第2の軸 A2 と第3の軸 A3 との交点に第3の重錘体 830 が配置され、第2の軸 A2 と第4の軸 A4 との交点に第4の重錘体 840 が配置されている。

【0138】第1の重錘体 810 ～ 第4の重錘体 840 は、それぞれ接続部材 801 を介して装置筐体 805 に接続されている。また、第1の重錘体 810 と第2の重錘体 820 との相互間、第1の重錘体 810 と第3の重錘体 830 との相互間、第4の重錘体 840 と第2の重錘体 820 との相互間、第4の重錘体 810 と第3の重錘体 820 との相互間、もそれぞれ接続部材 801 によって接続されている。

【0139】このような構成の角速度センサ 800 を用いて検出を行うには、まず、第1の軸 A1 と第3の軸 A3 との交点と第2の軸 A2 と第4の軸 A4 との交点とを連結する方向を X 軸方向と定義し、第1の軸 A1 と第4の軸 A4 との交点と第2の軸 A2 と第3の軸 A3 との交点とを連結する方向を Y 軸方向と定義する。そして、第1の重錘体 810 および第4の重錘体 840 を X 軸方向に沿って互いに逆方向に振動させ、第2の重錘体 820 および第3の重錘体 830 を Y 軸方向に沿って互いに逆方向に振動させることができるように、各重錘体上の励振用導電路に所定の交流電流を供給する。そして、第1の重錘体 810 に基づく検出値と第4の重錘体 840 に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力し、前記第2の重錘体 820 に基づく検出値と第3の重錘体 830 に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力する。

【0140】この角速度センサでは、第1の重錘体 810 および第4の重錘体 840 のうちの一方の重錘体が X 軸正方向へ運動しているときには、必ずもう一方の重錘体が X 軸負方向へ運動することになり、装置筐体 805 に対しては X 軸の正負両方向の力が加わることになる。同様に、第2の重錘体 820 および第3の重錘体 830 のうちの一方の重錘体が Y 軸正方向へ運動しているときには、必ずもう一方の重錘体が Y 軸負方向へ運動することになり、装置筐体 805 に対しては Y 軸の正負両方向の力が加わることになる。したがって、装置筐体 805 全体としては、外部への振動漏れを抑制することができる。また、一對の重錘体の運動方向が逆向きにな

るため、同じ角速度に起因して、一方の重錘体に作用するコリオリ力と他方の重錘体に作用するコリオリ力とは逆向きになる。よって、一方の重錘体から得られる検出信号と他方の重錘体から得られる検出信号とは、符号が逆になる。そこで、これら両検出信号の差に基づいて最終的な検出値を出力する差動検出が可能になり、温度変動や加速度の作用といった外乱による影響を相殺した正確な検出値を得ることができる。具体的には、第1の重錘体810に基づく検出値と、第4の重錘体840に基づく検出値との差によって、所定軸まわりの角速度を求めることができ、第2の重錘体820に基づく検出値と、第3の重錘体830に基づく検出値との差によって、所定軸まわりの角速度を求めることができる。ここで、第1の重錘体810と第4の重錘体840はX軸方向に運動するので、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ とZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を求めることができ、第2の重錘体820と第3の重錘体830はY軸方向に運動するので、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ とZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を求めることができる。このように、3軸まわりの角速度をそれぞれ容易に検出することができる。

【0141】<<< 7. 4 第4の構成例 >>>図40は、第4の構成例に係る角速度センサ900の構造概念図である。装置筐体905内には、4組の重錘体910、920、930、940が収容されている。ここでは、図示のように、水平方向に第1の軸A5、垂直方向に第2の軸A6が定義されており、両軸は中心点において直交する。第1の軸A5の中心点の両側に第1の重錘体910および第2の重錘体920が配置され、第2の軸A6の中心点の両側に第3の重錘体930および第4の重錘体940が配置されている。

【0142】ここで、第1の重錘体910、第2の重錘体920、第3の重錘体930、第4の重錘体940は、それぞれ接続部材901を介して装置筐体905に接続されており、更に、第1の重錘体910と第2の重錘体920との相互間と、第3の重錘体930と第4の重錘体940との相互間も、接続部材901を介して接続されている。なお、第1の重錘体910と第2の重錘体920とを相互に接続する接続部材901と、第3の重錘体930と第4の重錘体940とを相互に接続する接続部材901とは、第1の軸A5および第2の軸A6の交点位置の連結部950で連結されている。もっとも、この連結部950による連結は行わなくてもよい。また、この連結部950を装置筐体905に固定するようにしてもよい。

【0143】このような構成の角速度センサ900を用いて検出を行うには、第1の重錘体910および第2の重錘体920を第1の軸A5（X軸）に沿って互いに逆方向に振動させ、第3の重錘体930および第4の重錘体940を第2の軸A6（Y軸）に沿って互いに逆方向に振動させるように、所定の励振用導電路に所定の交流

電流を供給する。上述したように、互いに逆方向に振動する一対の重錘体を用いれば、差動検出が可能になる。すなわち、第1の重錘体910に基づく検出値と第2の重錘体920に基づく検出値との差に基づいて第1の角速度の検出値を出力することができ、第3の重錘体930に基づく検出値と第4の重錘体940に基づく検出値との差に基づいて第2の角速度の検出値を出力することができる。このような差動検出を行うと、外部への振動漏れが抑制でき、また、温度変動や加速度の作用といった外乱による影響を相殺した正確な検出値を得ることができる点は既に述べたとおりである。ここで、第1の重錘体910と第2の重錘体920はX軸方向に運動するので、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ とZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を求めることができ、第3の重錘体930と第4の重錘体940はY軸方向に運動するので、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ とZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を求めることができる。このように、3軸まわりの角速度をそれぞれ容易に検出することができる。

#### 【0144】

20 【発明の効果】以上のとおり本発明に係る角速度センサおよびこれを用いた角速度検出装置によれば、導電路に供給された電流と磁界との相互作用に基づくローレンツ力によって重錘体を運動させ、この運動と角速度との相互作用に基づいて生じるコリオリ力を検出することにより角速度を求めるようにしたため、構造をより単純化することが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体をY軸方向に運動させる原理を示す図である。  
 30 【図2】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がY軸方向に運動している状態で、X軸まわりの角速度 $\omega_x$ が作用したときの現象を示す図である。  
 【図3】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がY軸方向に運動している状態で、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用したときの現象を示す図である。  
 【図4】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体をX軸方向に運動させる原理を示す図である。  
 【図5】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がX軸方向に運動している状態で、Y軸まわりの角速度 $\omega_y$ が作用したときの現象を示す図である。  
 40 【図6】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がX軸方向に運動している状態で、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用したときの現象を示す図である。  
 【図7】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がY軸方向に運動している状態で、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用したときに生じるコリオリ力 $F_z$ を検出する原理を説明する図である。  
 【図8】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体がX軸方向に運動している状態で、Z軸まわりの角速度 $\omega_z$ が作用したときに生じるコリオリ力 $F_y$ を検出する原

理を説明する図である。

【図 9】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体が Y 軸方向に運動している状態で、X 軸まわりの角速度  $\omega_x$  が作用したときに生じるコリオリ力  $F_z$  を検出する原理を説明する図である。

【図 10】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体が X 軸方向に運動している状態で、Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  が作用したときに生じるコリオリ力  $F_z$  を検出する原理を説明する図である。

【図 11】本発明に係る角速度センサを構成する重錘体上に形成される導電路の 1 つのパターンを示す平面図である。

【図 12】本発明に係る角速度センサを構成する重錘体上に形成される導電路の典型的なパターンを示す平面図である。

【図 13】本発明に係る角速度検出装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 14】図 13 に示す角速度検出装置を用いて、三軸まわりのすべての角速度を検出する手順を示す図表である。

【図 15】図 13 に示す角速度検出装置に、フィードバック制御機能を付加した装置の基本構成を示すブロック図である。

【図 16】本発明の一実施形態に係る角速度センサ 200 の構造を示す縦断面図である。

【図 17】図 16 に示す角速度センサ 200 内の板状構造体 230 の横断面図である。

【図 18】図 16 に示す角速度センサ 200 の磁気ヘッド部分の拡大図である。

【図 19】図 16 に示す角速度センサ 200 に形成される閉じた磁気回路を示す図である。

【図 20】本発明の別一実施形態に係る角速度センサ 200 A の構造を示す縦断面図である。

【図 21】本発明の更に別一実施形態に係る角速度センサ 200 B の構造を示す縦断面図である。

【図 22】図 21 に示す実施形態に變形を施した角速度センサ 200 C の構造を示す縦断面図である。

【図 23】本発明の更に別一実施形態に係る角速度センサ 300 の構造を示す縦断面図である。

【図 24】本発明に係る角速度センサに用いる板状構造体の變形例を示す横断面図である。

【図 25】本発明に係る角速度センサに用いる板状構造体の別な變形例を示す横断面図である。

【図 26】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体の基板面に平行な磁束を生成させる実施形態の構成を示す図である。

【図 27】図 26 に示す実施形態において、重錘体が Z 軸方向に運動している状態で、Y 軸まわりの角速度  $\omega_y$  が作用したときに生じるコリオリ力  $F_x$  を検出する原理を説明する図である。

【図 28】重錘体の基板面に平行な磁束を用いる実施形態に係る角速度センサ 400 の構造を示す縦断面図である。

【図 29】重錘体の基板面に平行な磁束を用いる別の実施形態に係る角速度センサ 500 の構造を示す横断面図である。

【図 30】本発明に係る角速度センサにおいて、重錘体を回転運動させるために供給する交流電流波形を示すグラフである。

【図 31】重錘体上の 4 組の励振用導電路に対して、図 30 に示す交流電流  $I_1 \sim I_4$  を供給した状態を示す平面図である。

【図 32】図 31 に示す交流電流およびこれによって生じるローレンツ力の向きを、各時刻ごとに分けて示した平面図である。

【図 33】図 32 に示す各時刻ごとのローレンツ力によって生じる重錘体の回転運動の軌跡を示す平面図である。

【図 34】図 33 に示す回転運動の各時点において、特定の軸まわりの角速度を検出する手法を示す図表である。

【図 35】重錘体の変位検出に容量素子を用いた実施形態に係る角速度センサ 600 の構造を示す縦断面図である。

【図 36】図 35 に示す角速度センサ 600 を用いて、特定の軸まわりの角速度を検出する手法を示す図表である。

【図 37】2 組の重錘体を利用した角速度センサ 700 の構造概念図である。

【図 38】3 組の重錘体を利用した角速度センサ 700 A の構造概念図である。

【図 39】4 組の重錘体を利用した角速度センサ 800 の構造概念図である。

【図 40】4 組の重錘体を利用した別な角速度センサ 900 の構造概念図である。

【符号の説明】

- 10…重錘体
- 20…接続部材
- 30…装置筐体
- 40, 50, 60…磁界発生手段
- 100…角速度センサ
- 101…励振用導電路
- 102…検出用導電路
- 103…磁界発生手段
- 110…電流供給回路
- 120…電圧検出回路
- 130…制御装置
- 135…フィードバック制御装置
- 200, 200 A, 200 B, 200 C…角速度センサ
- 210…底板

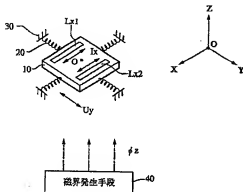
211, 212…挿通孔  
 215…底板  
 220…キャップ  
 221…磁気ヘッド  
 225…キャップ  
 226…磁気ヘッド  
 228…キャップ  
 230, 230A, 230B…板状構造体  
 231, 231A, 231B…中央部  
 232, 232A, 232B…可撓部  
 233, 233A, 233B…周囲部  
 240…台座  
 250…支持部材  
 251…磁気ヘッド  
 260, 265…磁石  
 266…磁気ヘッド  
 267…磁石  
 268…磁気ヘッド  
 269…磁石  
 271, 272, 273, 274…配線ピン  
 281, 282…ボンディングワイヤ  
 290…磁気回路  
 300…角速度センサ  
 310…底板  
 320…キャップ  
 330…板状構造体  
 331…中央部  
 332…可撓部  
 333…周囲部  
 340…台座  
 350…支持部材  
 351…磁気ヘッド  
 360…磁石  
 370…片持梁部材  
 371…磁気ヘッド  
 381, 382…配線ピン  
 391, 392…ボンディングワイヤ  
 400…角速度センサ  
 410…底板  
 420…キャップ  
 421…磁気ヘッド  
 431…中心部材  
 432…可撓部材  
 433…周囲部材  
 440…台座  
 450…磁石  
 460…磁気ヘッド  
 471, 472…配線ピン  
 481, 482…ボンディングワイヤ  
 500…角速度センサ

510…パッケージ  
 531…中心部材  
 532…可撓部材  
 533…周囲部材  
 540…磁気回路構成部  
 541…磁気ヘッド  
 550…磁気回路構成部  
 551…磁気ヘッド  
 560…磁石  
 600…角速度センサ  
 610…パッケージ  
 620…磁石  
 631…中心部材  
 632…可撓部材  
 633…周囲部材  
 641…変位電極  
 642…固定電極  
 700, 700A…角速度センサ  
 705…装置筐体  
 701…接続部材  
 710, 720, 730…重錘体  
 755…装置筐体  
 800…角速度センサ  
 805…装置筐体  
 801…接続部材  
 810, 820, 830, 840…重錘体  
 900…角速度センサ  
 905…装置筐体  
 901…接続部材  
 910, 920, 930, 940…重錘体  
 950…連結部  
 A, A1～A6…配置軸  
 d…軸間距離  
 E…交流電圧  
 Eref…基準交流波形  
 Ex…X軸方向の導電路に生じる起電力  
 Ey…Y軸方向の導電路に生じる起電力  
 Ez…Z軸方向の導電路に生じる起電力  
 I, Ix, Iy, I1, I2, I3, I4…導電路への  
 供給電流  
 Fb…フィードバック信号  
 Fx…X軸方向に作用するコリオリ力  
 Fy…Y軸方向に作用するコリオリ力  
 Fz…Z軸方向に作用するコリオリ力  
 Kx1, Kx2…X方向検出用導電路  
 Ky1, Ky2, Ky3, Ky4…Y方向検出用導電路  
 Lx0, Lx1, Lx2…X方向励振用導電路  
 Ly1, Ly2…Y方向励振用導電路  
 O…XYZ座標系の原点  
 R(t0)～R(t7)…ローレンツ力

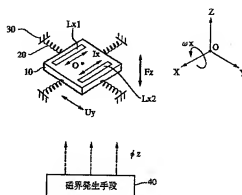
Sq1, Sq2…導電路配置の目安となる四角形  
 t0~t8…時刻  
 Ux…X軸方向の運動/振動  
 Uy…Y軸方向の運動/振動  
 Uz…Z軸方向の運動/振動  
 Vx, -Vx…X軸方向への接線速度  
 Vy, -Vy…Y軸方向への接線速度  
 X, Y, Z…三次元座標系の各座標軸

$\phi x d$ …ほぼX軸方向を向きながら広がる磁束  
 $\phi z$ …Z軸方向に平行な磁束  
 $\phi z d$ …ほぼZ軸方向を向きながら広がる磁束  
 $\omega$ …加速度検出値  
 $\omega x$ …X軸まわりの角速度  
 $\omega y$ …Y軸まわりの角速度  
 $\omega z$ …Z軸まわりの角速度

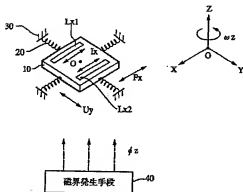
【図1】



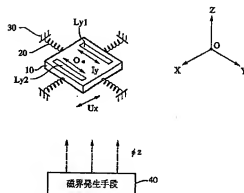
【図2】



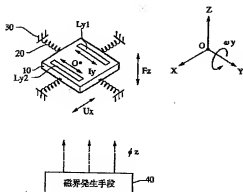
【図3】



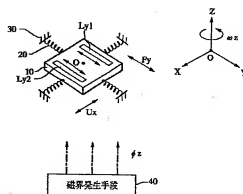
【図4】



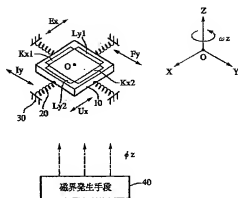
【図5】



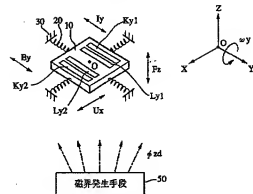
【図6】



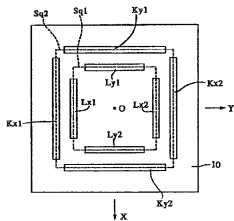
【圖8】



【圖 10】

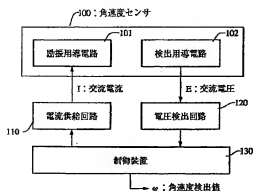


【圖 12】

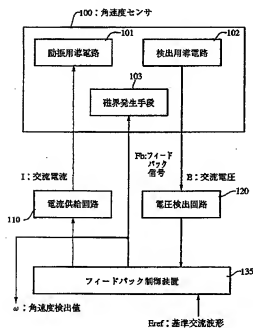




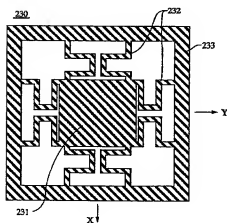
【図 13】



【図 15】



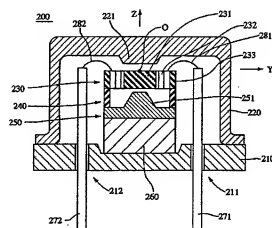
【図 17】



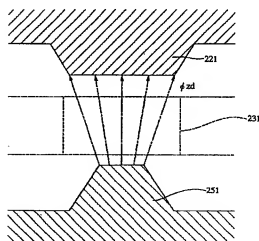
【図 14】

動作モード	励振用 電圧	振動 角速度	検出対象 角速度	コリオリ 力	検出用 電圧	発生 電圧
1	$I_x, I_y$ (図1)	$U_y$ (図1)	$\omega_x$	$F_x$ (図2)	$K_x1, K_x2$ (図9)	$E_x$
			$\omega_z$	$F_z$ (図3)	$K_y1, K_y2$ (図10)	$E_y$
			$\omega_x$	$F_x$ (図4)	$K_x1, K_x2$ (図9)	$E_x$
2	$I_y1, I_y2$ (図4)	$U_x$ (図4)	$\omega_y$	$F_y$ (図5)	$K_y1, K_y2$ (図10)	$E_y$
			$\omega_z$	$F_z$ (図6)	$K_x1, K_x2$ (図9)	$E_x$
			$\omega_x$	$F_x$ (図7)	$K_y1, K_y2$ (図10)	$E_y$

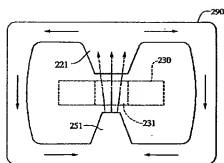
【図 16】



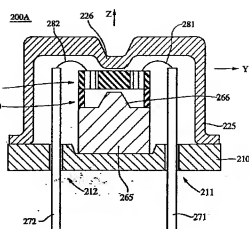
【図 18】



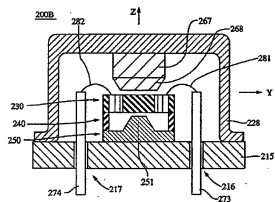
【図 19】



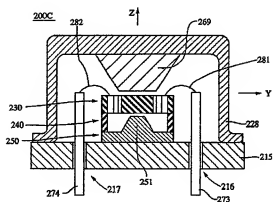
【図 20】



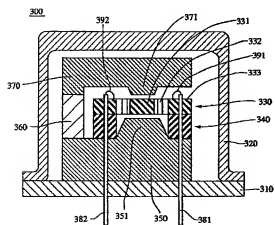
【図 21】



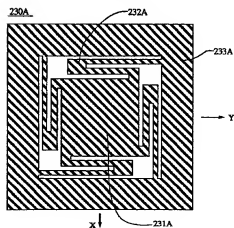
【図 22】



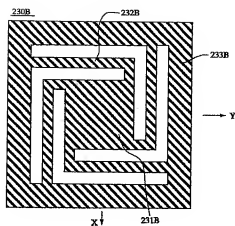
【図 23】



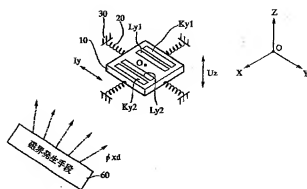
【図 24】



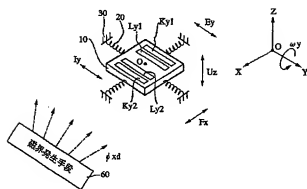
【圖 25】



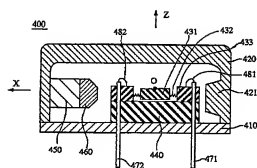
【圖 26】



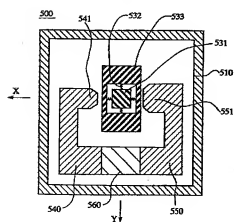
【圖 27】



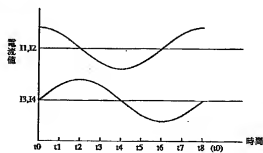
【圖 28】



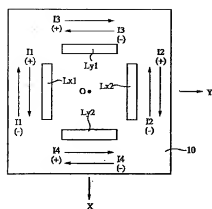
【圖 29】



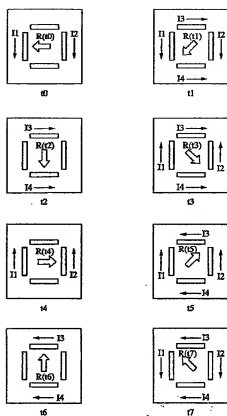
【圖 30】



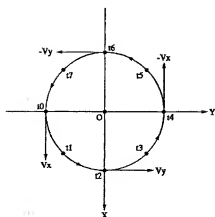
【図31】



【図32】



【図33】

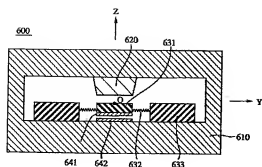


【図34】

非平行磁束φ<sub>sd</sub>

検出時点	励磁用 導電路	速度 成分	検出対象 角速度	コリオリ 力	検出用 導電路	発生 電圧
01,04	Ly1, Ly2	±Vx	ωx	-	-	-
			ωy	Fz	Ky1,Ky2	Ey
			ωz	Fy	Kx1,Kx2	Ex
02,05	Lx1, Lx2	±Vy	ωx	Fz	Kx1,Kx2	Ex
			ωy	-	-	-
			ωz	Fx	Ky1,Ky2	Ey

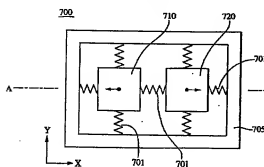
【図 35】



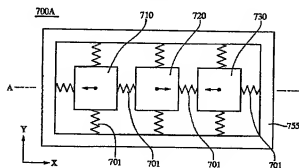
【図 36】

平行磁束 $\phi_z$					
検出時点	励磁用導電路	速度成分	検出対象角速度	コリオリ力	検出用導電路又は容量素子
t0, t4	L1, L2	$\pm V_x$	$\omega_x$	-	-
			$\omega_y$	$F_z$	C
			$\omega_z$	$F_y$	$Kx1, Kx2$
t2, t6	L3, L4	$\pm V_y$	$\omega_x$	$F_z$	C
			$\omega_y$	-	-
			$\omega_z$	$F_x$	$Ky1, Ky2$

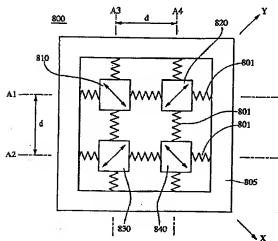
【図 37】



【図 38】



【図 39】



【図 40】

